



SKRIPSI – TK141581

**PENINGKATAN KINERJA MEMBRAN
*CELLULOSE ACETATE/POLYETHYLENE
GLYCOL (CA/PEG) DENGAN PENAMBAHAN
FUNCTIONALIZED CARBON NANOTUBE
(CNT)***

Oleh:

Rizal Andhika Gumilang

2313 100 066

Moch. Ilham Riswanda

2313 100 103

Dosen Pembimbing

Siti Nurkhamidah, S.T, M.S, Ph.D

NIP. 19840508 200912 2 004

Dr. Yeni Rahmawati, S.T, M.T

NIP. 19761020 200501 2 001

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT – TK141581

**ENHANCING PERFORMANCE OF
*CELLULOSE ACETATE/POLYETHYLENE
GLYCOL (CA/PEG) MEMBRANE WITH
ADDED FUNCTIONALIZED CARBON
NANOTUBE (CNT)***

By:

Rizal Andhika Gumilang

2313 100 066

Moch. Ilham Riswanda

2313 100 103

Advisor

Siti Nurkhamidah, S.T, M.S, Ph.D

NIP. 19840508 200912 2 004

Dr. Yeni Rahmawati, S.T, M.T

NIP. 19761020 200501 2 001

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PENINGKATAN KINERJA MEMBRAN *CELLULOSE* *ACETATE/POLYETHYLENE GLYCOL (CA/PEG)* DENGAN PENAMBAHAN *FUNCTIONALIZED* *CARBON NANOTUBE (CNT)*

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik
Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

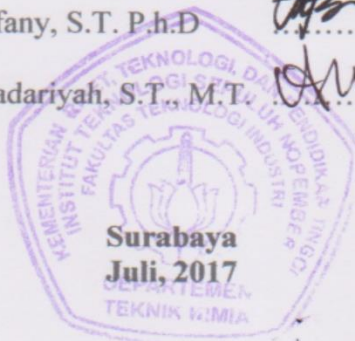
Oleh :

Rizal Andhika Gumilang
Moch. Ilham Riswanda

NRP : 2313 100 066
NRP : 2313 100 103

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D (Pembimbing 1)
2. Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T. (Pembimbing 2)
3. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S (Penguji I)
4. Fadlilatul Taufany, S.T. P.h.D (Penguji II)
5. Dr. Lailatul Qadariyah, S.T., M.T. (Penguji III)



PENINGKATAN KINERJA MEMBRAN CELLULOSE ACETATE/POLYETHYLENE GLYCOL (CA/PEG) DENGAN PENAMBAHAN *FUNCTIONALIZED CARBON NANOTUBE* (CNT)

Nama : 1. Rizal Andhika Gumilang
2. Moch. Ilham Riswanda
NRP : 1. 2313 100 066
2. 2313 100 103
Pembimbing I : Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D
Pembimbing II : Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T.

ABSTRAK

Secara keseluruhan 97% air yang ada di bumi merupakan air laut dan hanya 2% merupakan air tawar yang berbentuk es. Sedangkan hanya 1% air bersih yang ada di bumi digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia dan industri. Air dibutuhkan manusia untuk kebutuhan air minum, air mandi dan air sanitasi. Sedangkan dalam industri sendiri air berperan penting dalam unit utilitas yaitu sebagai air umpan boiler, sebagai pembangkit listrik ataupun sebagai pendingin pada *heat exchanger*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem pengolahan air yang baik dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia ataupun dalam pemenuhan kebutuhan utilitas dalam industri. Desalinasi merupakan proses pemisahan untuk mengurangi kandungan garam atau zat terlarut hingga konsentrasi tertentu sehingga dapat dikonsumsi. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan sintesa membran CA/PEG dengan penambahan CNT 0.0125, 0.025, 0.0375, 0.05 gram yang telah difungsionalisasi *wet* dan *dry method*. Hasil fluks yang didapatkan CPCU 0, CPCU 1, CPCU 2, CPCU 3, CPCU

4 berturut turut 333.33 L/m².hr, 800 L/m².hr, 906.67 L/m².hr, 1093.33 L/m².hr, 1233.33 L/m².hr. Dan untuk *Salt rejection* CPCU 0, CPCU 1, CPCU 2, CPCU 3, CPCU 4 berturut turut 44.511%, 46.172%, 48.536%, 49.303%, 48.600%. Dari penelitian didapatkan membran terbaik yaitu CPCU 4 yaitu CA/PEG dengan penambahan CNT 0.05 gram.

Kata kunci : membran, fungsionalisasi, *salt rejection*

ENHANCING PERFORMANCE OF CELLULOSE ACETATE/POLETHYLENE GLYCOL (CA/PEG) MEMBRANE WITH ADDED FUNCTIONALIZED CARBON NANOTUBE (CNT)

Name : 1. Rizal Andhika Gumilang
2. Moch. Ilham Riswanda
NRP : 1. 2313 100 066
2. 2313 100 103
Advisor I : Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D
Advisor II : Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T.

ABSTRACT

Over 97% of the earth's water is the ocean water and only 2% is fresh water that is stored as ice cap. That leaves only 1% of the earth's water is fresh water that available for human daily needs and industry needed. People needs water for drinking water, bathing water and water sanitation. While in industry, water acts as boiler feed water, power plants, and cooler at heat exchanger. Therefore needed the water treatment processes for supply human daily needs and supply utility needs in industry. Desalination is a separation process to decrease salt and other solute until certain concentrations so that will be consumed. Therefore in this research will be made CA/PEG membrane with added functionalized CNT of 0.0125, 0.025, 0.0375, 0.05 grams that functionalized with wet and dry method. The flux of CPCU 0, CPCU 1, CPCU 2, CPCU 3, CPCU 4 respectively 333.33 L/m².hr, 800 L/m².hr, 906.67 L/m².hr, 1093.33 L/m².hr, 1233.33 L/m².hr. And *Salt rejection* CPCU 0, CPCU 1, CPCU 2, CPCU 3, CPCU 4 respectively 44.511%, 46.172%, 48.536%,

49.303%, 48.600%. From the research the best membrane is CA/PEG with added 0.05 grams CNT.

Key word: membrane, selectivity, hydrogen recovery

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami sampaikan kepada kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat dan berkah-Nya kami dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul:

“PENINGKATAN KINERJA MEMBRAN CELLULOSE ACETATE/POLYETHYLENE GLYCOL (CA/PEG) DENGAN PENAMBAHAN *FUNCTIONALIZED CARBON NANOTUBE (CNT)*”

Tugas Skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan Program Studi S-1 di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama penyusunan skripsi ini, kami banyak sekali mendapatkan bimbingan, dorongan, dan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, kami menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga kami atas segala kasih sayang dan pengertian yang telah diberikan.
2. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
3. Bapak Prof. Dr. Ir Ali Altway, M.S selaku Kepala Laboratorium Proses Perpindahan Panas dan Massa yang telah banyak memberikan masukan kepada kami.
4. Ibu Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D. dan Ibu Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, saran dan masukan untuk kami.
5. Bapak Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D, Bapak Dr. Ir. Susianto, DEA selaku dosen dalam Laboratorium Proses Perpindahan Panas dan Massa atas bimbingan dan saran yang diberikan.

6. Bapak dan Ibu selaku dosen pengajar serta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
7. Teman – teman laboratorium Proses Perpindahan Panas dan Massa dan keluarga K-53 atas dukungan dan kebersamaannya, sehingga kami dapat menyelesaikan tugas skripsi ini.

Kami menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih perlu penyempurnaan. Oleh karena itu, kami mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Semoga proposal tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Terima kasih.

Surabaya, Februari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah.....	4
I.3 Batasan Masalah.....	4
I.4 Tujuan Penelitian.....	4
I.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
II.1 Membran	7
II.1.1. Mikrofiltrasi.....	8
II.1.2. Ultrafiltrasi	9
II.1.3. Nanofiltrasi.....	9
II.1.4. <i>Reverse Osmosis</i>	9
II.2 Pembuatan Membran.....	10
II.3 <i>Cellulose acetate (CA)</i>	12
II.4 <i>Polyethylene Glycol (PEG)</i>	12
II.5 Aseton.....	12
II.6 <i>Carbon Nanotube (CNT)</i>	13
II.7 Fungsionalisasi <i>Carbon Nanotube (CNT)</i>	13
II.8 Karakterisasi dan Uji Analisa Membran	17
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	23
III.1. Deskripsi Penelitian.....	23
III.2. Bahan dan Peralatan Penelitian	23

III.2.1. Bahan Penelitian.....	23
III.2.2. Alat yang Digunakan.....	24
III.3. Peralatan Penelitian	24
III.4. Variabel Penelitian	25
III.5. Metodologi Penelitian	26
III.6. Diagram Alir Penelitian.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
IV.1. Fungsionalisasi <i>Carbon Nanotube</i>	29
IV.2. Analisa <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>	32
IV.3. Analisa <i>Water Content</i>/.....	34
IV.4. Analisa <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	34
IV.5. Uji Fluks.....	38
IV.6 Permeabilitas.....	39
IV.6 Uji <i>Salt Rejection</i>	40
BAB V KESIMPULAN	43
DAFTAR PUSTAKA	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xvii
APPENDIKS A	A-1
APPENDIKS B	B-1
APPENDIKS C	C-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fungsionalisasi CNT.....	13
Gambar 2. 2 Analisa Dispersi CNT pada Aqueous Media untuk CNT, CNT _{snc} (Osorio, 2008)	15
Gambar 2. 3 Analisa Dispersi CNT pada Aqueous Media untuk CNT _{sn} , CNT _n (Osorio, 2008)	15
Gambar 2. 4 Hasil Uji FTIR untuk Dry Functionalization (Kim, 2007).....	16
Gambar 2. 5 Contoh Hasil Analisa Morfologi Membran dengan Menggunakan FTIR (Ahmad, A., 2014)	18
Gambar 2. 6 Skema Dasar Scanning Electron Microscopy (Smallman, 1999)	20
Gambar 2. 7 Contoh Hasil Analisa Morfologi Membran dengan Menggunakan SEM (Ahmad, A., 2014).....	20
Gambar 3. 1 Skema Peralatan Penelitian	25
Gambar 3. 2 Diagram Alir (A) Fungsionalisasi CNT dan (B) Pembuatan Membran CA/PEG/CNT-SCN	27
Gambar 4. 1 Reaksi Penambahan HNO ₃ /H ₂ SO ₄ Pada CNT (Lin, 2003).....	31
Gambar 4. 2 Grafik FTIR CNT dan Functionalized CNT	31
Gambar 4. 3 Grafik FTIR Membran CA/PEG/CNT.....	33
Gambar 4. 4 Hasil Analisa SEM dengan Gambar Penampang <i>Top Surface</i> dan <i>Fracture Surface</i>	35
Lanjutan Gambar 4. 4 Hasil Analisa SEM dengan Gambar Penampang <i>Top Surface</i> dan <i>Fracture Surface</i>	36
Gambar 4. 5 Hasil Analisa Uji Fluks.....	38
Gambar 4. 6 Mekanisme Transport Air Pada Membran yang Mengandung CNT (Gethard, 2007)	39
Gambar 4. 7 Hasil Analisa Salt Rejection	40
Gambar A. 1 Flow Diagram Analisa Water Content.....	A-1
Gambar A. 2 Flow Diagram Analisa FTIR.....	A-2
Gambar A. 3 Penampang Horizontal Akrilik dan Membran ...	A-3
Gambar A. 4 Alat Uji Desalinasi	A-4

Gambar B. 1 Grafik FTIR Carbon Nanotube.....	B-1
Gambar B. 2 Grafik FTIR Carbon nanoutube terfungsionalisasi.....	B-2
Gambar B. 3 Grafk FTIR Membran CPCU 0.....	B-2
Gambar B. 4 Grafik FTIR Membran CPCU 1	B-3
Gambar B. 5 Grafik membran CPCU 2.....	B-3
Gambar B. 6 Grafik membran CPCU 3	B-4
Gambar B. 7 Grafik membran CPCU 4.....	B-4
Gambar C. 1 Grafik Kalibrasi air garam	C-7

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Membran (Kucera, 2015)	10
Tabel 2. 2 Tingkat Oksidasi CNT dengan Berbagai Oxidative Treatments (Wepasnick, 2011).....	14
Tabel 3. 1 Penamaan Membran CA/PEG dengan Penambahan CNT.....	26
Tabel 4. 1 Luas Area Peak –OH Pada Membran.....	33
Tabel 4. 2 Analisa Water Content.....	34
Tabel 4. 3 Ukuran Pori Membran	37
Tabel C. 1 Luas Area <i>Peak</i> Gugus –OH dan –COOH pada CNT dan <i>functionaized</i> CNT.....	C-3
Tabel C. 2 Luas Area <i>Peak</i> Gugus –OH pada Membran.....	C-3
Tabel C. 3 Hasil Perhitungan Fluks Permeat.....	C-5
Tabel C. 4 Hasil Perhitungan Permeabilitas	C-6
Tabel C. 5 Hasil Uji Konduktivitas (CPCU)	C-7
Tabel C. 6 Hasil Salt Rejection	C-8

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Air merupakan elemen yang penting di bumi karena sekitar 71% air menutupi permukaan bumi. Secara keseluruhan 97% air yang ada di bumi merupakan air laut dan hanya 2% merupakan air tawar yang berbentuk es, sedangkan hanya 1% air yang ada di bumi digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia dan dalam industri. Manusia menggunakan air untuk beberapa tujuan. Dalam penggunaannya, air dibutuhkan manusia untuk kebutuhan air minum, air mandi dan air sanitasi. Air minum yang kita minum merepresentasikan kebutuhan sel akan air, dimana penurunan air untuk memenuhi kebutuhan hidup akan menyebabkan berkurangnya efisiensi sel dalam tubuh (Batmanghelid, 2003). Sedangkan dalam industri sendiri, air berperan penting dalam unit utilitas yaitu sebagai air umpan boiler, sebagai pembangkit listrik ataupun sebagai pendingin pada *heat exchanger* (Kulstrestha, 1998).

Air bersih adalah salah satu sumber daya yang memegang peranan penting dalam kehidupan. Populasi manusia terus meningkat dalam setiap tahun, sehingga populasi manusia di dunia mencapai tiga kali lipat. Angka ini diestimasi dari kecenderungan pertumbuhan dalam beberapa tahun terakhir (Ryan, 2015). Kebutuhan air bersih akan terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, dan membuat manusia harus berusaha untuk mencari ataupun mengolah air dengan baik dan terjamin kualitasnya. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem

pengolahan air yang baik dalam rangka untuk menghasilkan air bersih yang layak untuk dikonsumsi oleh manusia ataupun dalam pemenuhan kebutuhan utilitas pabrik. Desalinasi merupakan sistem pengolahan air yang saat ini sedang berkembang. Desalinasi adalah suatu proses pemisahan garam dan zat terlarut dengan pelarutnya hingga konsentrasi tertentu sehingga air tersebut dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidup atau kebutuhan utilitas dalam industri. Terjadi peningkatan jumlah produksi air desalinasi yaitu sekitar 9% yang terjadi pada rentang tahun 2010-2016 (Zotalis, 2016). Perkembangan saat ini dilakukan yaitu proses desalinasi dengan menggunakan membran, dikarenakan desalinasi menggunakan membran memiliki efisiensi yang tinggi, kebutuhan energi yang cukup rendah dan ramah lingkungan (Ng, 2015).

Teknologi proses pemisahan dengan menggunakan membran semipermeabel dimana proses memaksa pelarut dari daerah dengan konsentrasi zat terlarut yang tinggi menuju ke daerah dengan konsentrasi yang rendah dengan memberikan tekanan melebihi tekanan osmotiknya disebut *reverse osmosis*. *Reverse osmosis* banyak digunakan dalam aplikasi desalinasi (Fritzmann, 2006). Kinerja dari membran mempengaruhi hasil dari desalinasi. Beberapa tahun belakangan ini mulai dikembangkan penelitian tentang membran *reverses osmosis*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui kinerja membran seperti fluks, rijeksi garam dan morfologi permukaan, dan hidrofilitas. Kinerja membran tersebut dipengaruhi oleh jenis material/bahan baku, komposisi material/bahan baku yang digunakan, serta metode pembuatan membran tersebut. (Lee, 2011)

Celullose acetate (CA) merupakan material membran *reverse osmosis* yang memiliki tingkat kinerja yang tinggi. *Cellulose acetate* sebagai material membran *reverse osmosis* memiliki beberapa keuntungan mudah dalam pembentukannya, memiliki ketahanan mekanik yang tinggi, tahan terhadap degradasi oleh klorin, dan oksidan lain. Namun *cellulose acetate* memiliki beberapa kekurangan juga yaitu fluks yang rendah dan juga tekanan operasi yang tinggi (Baker, 2004)

Polyethylene Glycol (PEG) merupakan material aditif yang umum digunakan dalam membuat membran. *Polyethylene Glycol* (PEG) biasa digunakan sebagai *plasticizer* agen pembentuk pori pada membran dan material tambahan pada membran CA, dimana komposisi CA/PEG ini menentukan kinerja dan morfologi pada membran (Arthanareeswaran, 2004).

Carbon nanotube (CNT) memiliki struktur berpori dengan ukuran diameter luar sekitar 2 nm – 100 nm. Sifat CNT jenis *Multi Walled Carbon Nanotube* (MWCNT) bersifat hidrofobik dan memiliki kelarutan yang rendah dalam *solvent*. Oleh karena itu, perlu dilakukan fungsionalisasi dengan penambahan gugus fungsional hidrofilik seperti gugus hidroksil pada permukaan MWCNT (Sears, 2010).

Menurut penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu modifikasi dari membran desalinasi CA/PEG dengan penambahan nanopartikel anorganik yaitu CNT, didapatkan bahwa dengan penambahan CNT maka hidrofilisitas dan rejeksi garam semakin meningkat. Adapun membran yang paling optimal untuk proses desalinasi adalah pada komposisi membran CA/PEG/CNT 80/20/0.05 gram dengan fluks permeat

86,90 $\text{L.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ dan rijeksi garam 47.345% (Nurkahmidah, 2015).

I.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah untuk penelitian ini yaitu pengaruh fungsionalisasi *Carbon nanotube* (CNT) terhadap performa membran serta pengaruh penambahan *functionalized Carbon nanotube* (CNT) terhadap performa membran polimer *Cellulose acetate/Polyethylene glycol* (CA/PEG) dalam proses desalinasi yang ditinjau dari fluks dan rijeksi garam.

I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Pembuatan membran desalinasi *reverse osmosis* dengan menggunakan polimer *Cellulose acetate* dan *Polyethylene glycol* dengan *Carbon nanotube* (CNT) sebagai bahan aditif.
2. Berat molekul PEG yang digunakan yaitu 200 Da dan berat molekul CA yang digunakan yaitu 30000 Da.

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mempelajari pengaruh penambahan *functionalized Carbon nanotube* (CNT) pada membran CA/PEG.
2. Mengetahui kinerja membran CA/PEG yang telah ditambahkan *functionalized Carbon nanotube* (CNT) dalam proses desalinasi.

I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui kinerja membran CA/PEG yang telah ditambahkan *functionalized Carbon nanotubes* (CNT). Hasil dari eksperimen tersebut diharapkan dapat membantu sebagai referensi cara fungsionalisasi CNT dan penentuan komposisi CA/PEG serta konsentrasi CNT yang ditambahkan untuk dapat meningkatkan performa membran CA/PEG dalam desalinasi *reverse osmosis*.

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam rangka mengatasi kebutuhan air murni sebagai sumber kehidupan, berbagai teknologi pengolahan air telah diusulkan dan diterapkan dalam skala lab maupun industri. Teknologi ini umumnya dibedakan menjadi 3 level teknologi pengolahan air yaitu primer (filtrasi, sedimentasi, koagulasi dan flokulasi), sekunder (perlakuan secara aerobik dan anaerobik), dan tersier (distilasi, kristalisasi, penguapan, oksidasi, pertukaran ion, ultrafiltrasi, mikrofiltrasi, nanofiltrasi, adsorpsi, elektrolisis dan *reverse osmosis* (RO)). Dari banyaknya teknologi ini tidak semua dapat menghilangkan polutan air dengan efektif karena kebutuhan energi dan biaya operasional yang tinggi hingga tidak mampu menghilangkan kandungan garam pada air asin.

Dalam hal ini, teknologi membran tidak memerlukan bahan kimia tambahan dengan biaya operasional yang relatif lebih rendah yang menjadikan teknologi ini menjadi prioritas utama untuk pengolahan air khususnya air asin.

II.1 Membran

Membran mempunyai peluang yang sangat besar sebagai teknologi pemurnian air bahkan untuk skala *ionic*. Membran yang digunakan untuk pemurnian dan pemisahan dapat didefinisikan sebagai film tipis semipermeabel. Properti semipermeabel berarti bahwa membran dapat dilewati air tetapi tidak untuk bakteri (*microfilament*) atau garam (*reverse osmosis*). Keuntungan dari teknologi membran termasuk dalam sifat modular, memungkinkan diaplikasikan dalam skala besar atau kecil, kualitas air yang tinggi, dan dengan energi penggunaan yang lebih rendah (Mulder, 1996).

Proses pemisahan dengan membran dapat terjadi karena adanya *driving force* dalam umpan berupa beda tekanan (ΔP), beda konsentrasi (ΔC), beda potensial listrik (ΔE), serta

beda temperatur (ΔT). Berdasarkan geometri porinya, membran dapat dibedakan menjadi membran simetrik dan asimetrik (Mulder, 1996) :

1. Membran simetrik: membran yang memiliki pori homogen dengan ketebalan 10-200 μm . Pada penggunaan jenis membran ini, dimungkinkan lebih cepat terjadinya penyumbatan pori.
2. Membran asimetrik: terdiri dari 2 lapisan yaitu lapisan kulit tipis dengan ketebalan 0.1-0.5 μm dan lapisan pendukung yang berpori besar dengan ketebalan 50-150 μm . Jenis membran ini dapat mempunyai selektivitas yang lebih tinggi karena mempunyai lapisan membran yang rapat dan tipis. Mekanisme penyangaran permukaan pada membran asimetrik menyebabkan tingginya laju filtrasi. Pada ketebalan yang sama, tingkat pemisahan membran asimetrik jauh lebih tinggi dibanding membran simetrik karena pada membran simetrik, partikel yang melewati pori akan menyumbat pori-pori membran sehingga dapat menurunkan tingkat penyangaran membran (Mulder, 1996).

Berdasarkan perbedaan ukuran pori, membran dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu :

II.1.1. Mikrofiltrasi

Membran mikrofiltrasi dapat memisahkan partikel kecil seperti sel, bakteri dan virus. Membran mikrofiltrasi umumnya berupa *cartridge* yang berukuran pori 0,1 – 10 μm . Bahan *cartridge* bisa berasal dari katun, selulosa, *fiber glass*, polipropilen, akrilik, nilon, ester selulosa, dan polimer hidrokarbon. Lemak serta partikel kecil seperti mikroorganisme akan tertahan di membran, sementara senyawa, makromolekul (protein, karbohidrat, gula, garam,

mineral, dan air) akan lolos melewati membran (Mulder, 1996).

II.1.2. Ultrafiltrasi

Ultrafiltrasi merupakan proses membran yang mempunyai sifat diantara makrofiltrasi dan nanofiltrasi. Ukuran membran ultrafiltrasi biasanya berkisar antara 0.05 μm pada sisi makrofiltrasi hingga 1 nm pada sisi nanofiltrasi. Semua garam terlarut dan molekul yang lebih kecil akan melewati pori membran, sedangkan koloid, protein, kontaminan mikrobiologi, dan molekul organik yang mempunyai ukuran lebih besar akan tertahan (Mulder, 1996).

II.1.3. Nanofiltrasi

Membran ini memiliki ukuran pori 0,001 μm dengan keterbatasan dalam mengolah air baku menjadi air minum. Membran nanofiltrasi hanya dapat memisahkan air dari padatan terlarut, bakteri, virus, ion multivalensi seperti Ca^{2+} Mg^{2+} yang menyebabkan kesadahan atau molekul yang mempunyai berat molekul dengan rentang 200-5000 dan tidak dapat memisahkan ion monovalensi seperti Na^+ , K^+ . Hal ini berarti membran nanofiltrasi hanya dapat mengolah air baku yang berupa air tawar (Ren, 2011).

II.1.4. *Reverse Osmosis*

Membran *reverse osmosis* akan memberikan tekanan balik dengan tekanan osmotik lebih besar pada permukaan cairan yang lebih kental, sehingga cairan akan menembus permukaan membran menjadi cairan yang lebih murni (Heitmann, 1990). Pengolahan menggunakan membran *reverse osmosis* merupakan pengolahan proses fisika yang dilakukan dengan memberikan dorongan atau tekanan, menahan semua ion, melepaskan air murni serta membuang air kotor. Membran ini memiliki ukuran pori 0.0001 μm dan dapat menghilangkan zat-zat organik, bakteri, pirogen, serta koloid yang tertahan oleh struktur pori yang berfungsi sebagai penyaring (Metcalf, 2004).

Tabel 2. 1 Klasifikasi Membran (Kucera, 2015)

<i>Process</i>	<i>Pore Size</i>	<i>Driving Force</i>
<i>Microfiltration</i>	0.03 – 10 μm	1-2 bar
<i>Ultrafiltration</i>	0.001 – 0.05 μm	2-5 bar
<i>Nanofiltration</i>	< 2 nm	5-15 bar
<i>Reverse Osmosis</i>	\pm 0.6 nm	15-100 bar

II.2 Pembuatan Membran

Pada umumnya, proses pembuatan membran dilakukan dengan menggunakan metode inversi fasa yaitu perubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi fasa padatan. Proses pemadatan yang terjadi diawali dengan transisi dari fase satu cairan menjadi fase dua cairan (*liquid-liquid demixing*). Pada saat tahapan *demixing* ini, salah satu dari fase cairan tersebut (fase polimer dengan konsentrasi tinggi) akan memadat hingga terbentuk suatu matriks padatan (Mulder, 1996).

Tahapan proses secara umum pada inversi fasa yaitu homogenasi, pencetakan, penguapan sebagian pelarut dan dengan dimasukkan dalam bak koagulasi. Metode inversi fasa mencakup berbagai macam teknik pengendapan yakni:

1. Pengendapan dengan penguapan pelarut
Metode ini merupakan yang paling sederhana. Larutan polimer yang telah dicetak dibiarkan menguap pada suasana inert hingga uap air dapat keluar dan dapat diperoleh membran homogen yang tebal.
2. Pengendapan fase uap
Pada metode ini, membran dibuat dengan meletakkan cetakan film yang terdiri dari polimer dan pelarut dimana fase uap mengandung uap jenuh non pelarut dan pelarut yang sama dengan cetakan film. Pada fase uap, konsentrasi pelarut yang tinggi mencegah penguapan

pelarut dari cetakan film, dimana pembentukan membran dapat terjadi karena difusi dari non pelarut ke dalam cetakan film.

3. Pengendapan dengan penguapan terkendali

Membran yang terbentuk dengan metode ini yaitu membran berkulit. Metode ini memanfaatkan perbedaan volatilitas antara pelarut dengan non pelarut. Selama pelarut lebih mudah menguap dari non pelarut maka perubahan komposisi selama penguapan akan bergerak ke arah kandungan non pelarut yang lebih tinggi.

4. *Thermally Induced Phase-Separation* (TIPS)

Prinsip kerja pada metode ini yaitu dipengaruhi oleh perubahan temperatur. Metode TIPS terdiri dari lima langkah dasar yaitu: (1) polimer dicampur pada suhu yang dinaikkan dengan kondisi bahan baku yang memiliki titik didih tinggi dan berat molekul pelarut yang rendah untuk membentuk larutan yang homogen; (2) larutan polimer panas dicetak pada permukaan yang dingin; (3) larutan yang telah dicetak kemudian didinginkan untuk proses *induce phase separation* dan pemadatan; (4) pelarut yang masih terperangkap pada matriks polimer selama pemadatan dipisahkan dengan ekstraksi pelarut untuk membentuk struktur *microporous*; (5) proses lanjutan dapat dilakukan untuk mencapai sifat membran TIPS yang diinginkan (Li, 2006).

5. Pengendapan Imersi

Metode ini merupakan metode yang sering digunakan untuk pembuatan membran saat ini. Larutan polimer dicetak dalam suatu tempat dan dicelupkan ke dalam bak koagulasi yang mengandung non pelarut, dimana membran akan dapat terbentuk karena pertukaran pelarut dan non pelarut.

Pada umumnya, pembuatan membran selulosa asetat yaitu dengan menggunakan metode pengendapan imersi.

Syarat dari metode ini yaitu polimer yang digunakan harus larut dalam pelarut atau campurannya agar dapat terjadi *liquid-liquid demixing*. Demixing merupakan proses awal pemadatan untuk membentuk membran dan nantinya akan terjadi pertukaran pelarut dengan non pelarut pada membran, dimana pertukaran pelarut ini mengakibatkan polimer tersebut membentuk matriks padatan dan akhirnya menjadi membran (Mulder, 1996).

II.3 Cellulose acetate (CA)

CA adalah polimer yang secara spesifik memenuhi untuk proses desalinasi diantara bahan lain seperti polivinil pirolidon, polivinil alkohol, dan poliamida. CA memiliki efisiensi yang tinggi, mudah tersedia biaya relatif rendah, non toksisitas, hidrofilisitas, kelarutan yang baik dalam pelarut organik dan potensi fluks tinggi. CA perlu dikombinasikan dengan polimer lain untuk dapat meningkatkan kinerja membran. Penambahan aditif PEG pada CA membran, dengan penambahan PEG 20% berat memberikan hasil yang optimal dibandingkan dengan komposisi CA/PEG yang lainnya.

II.4 Polyethylene Glycol (PEG)

PEG merupakan salah satu diantara zat aditif yang sering ditambahkan pada pembuatan membran yang berfungsi sebagai agen pembentuk pori untuk meningkatkan keteraturan bentuk pori pada membran sehingga struktur pori lebih rapat dan membran yang dihasilkan semakin bagus. PEG adalah senyawa hasil kondensasi dari oksietilen dan air dengan rumus molekul $H(OCH_2CH_2)_nOH$, dimana n merupakan bilangan jumlah rata-rata pengulangan grup oksietilen mulai dari 4 sampai 180.

II.5 Aseton

Penggunaan *solvent* (pelarut) pada polimer membran terhadap struktur morfologi membran yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh sifat pelarut itu sendiri. Penggunaan aseton sebagai solven karena dapat menghasilkan injeksi garam yang

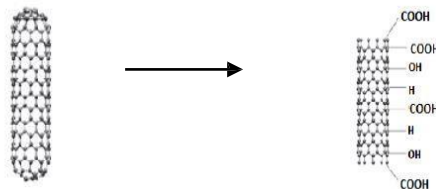
lebih baik dibanding pelarut lainnya, namun dengan flux yang lebih kecil (Ahmad, 2005).

II.6 Carbon Nanotube (CNT)

Carbon nanotube berbentuk silinder dan memiliki struktur dari atom karbon dengan diameter antara 1-50 nm. CNT menunjukkan properti mekanis, *thermal* dan optis yang baik. CNT memiliki struktur berpori, pada dinding bagian dalam bersifat hidrofobik hingga aliran bisa dipercepat. Selain itu CNT juga bertindak sebagai pori baru, sehingga menyebabkan fluks pada membran akan meningkat (Das, 2014).

II.7 Fungsionalisasi Carbon Nanotube (CNT)

CNT memiliki sifat dasar yaitu hidrofobik. Untuk itu diperlukan penambahan gugus fungsional hidrofilik berupa gugus hidroksil pada permukaan CNT atau yang dikenal dengan fungsionalisasi.



(Carbon Nanotube)

(Activated-Carbon Nanotube)

Gambar 2. 1 Fungsionalisasi CNT

Secara umum, metode fungsionalisasi pada *carbon nanotube* terbagi menjadi dua yaitu :

1. Wet Functionalization

Penambahan gugus fungsional pada CNT dilakukan dengan metode *wet oxidation* menggunakan bahan kimia sebagai agen pengoksidasi (asam dan oksidator kuat). Perbedaan metode oksidasi yang digunakan akan berpengaruh terhadap konsentrasi

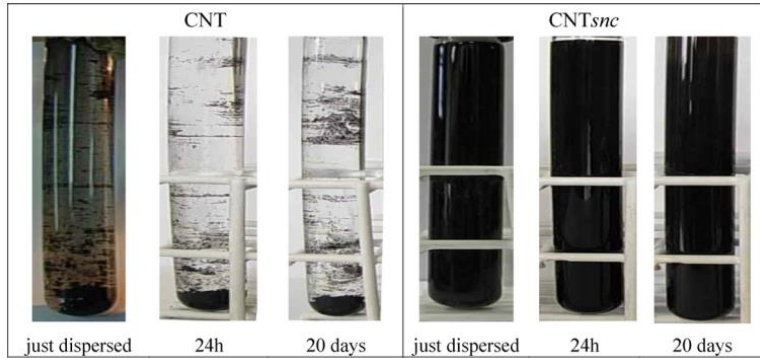
oksigen pada dinding CNT dan konsentrasi gugus fungsional.

Tabel 2. 2 Tingkat Oksidasi CNT dengan Berbagai Oxidative Treatments (Wepasnick, 2011)

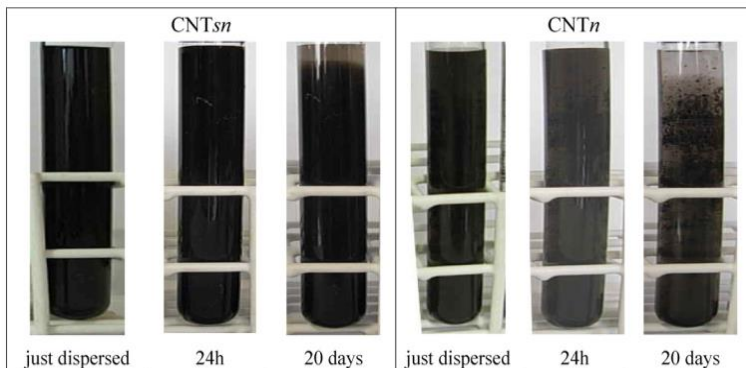
<i>Oxidative Methods</i>	<i>Oxidation Level (%)</i>
<i>Pristine</i>	~1
$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$	4.5
H_2O_2	4.5
O_3	4.7
20% HNO_3	4.3
70% HNO_3	9.5
KMnO_4	9
$\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$	10.2

Dari **Tabel 2.2** diketahui metode fungsionalisasi CNT dengan menggunakan $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$ memberikan hasil yang terbaik dimana perbandingan H_2SO_4 dan HNO_3 yang digunakan yaitu 3:1 dalam % volume (Wepasnick, 2011).

Tujuan dari fungsionalisasi CNT selain memasukkan gugus fungsional yang merubah sifat CNT dari hidrofobik menjadi hidrofilik, juga dapat meningkatkan dispersi dari CNT. Adanya penambahan HCl sebelum memasukkan gugus fungsional ke CNT menggunakan H_2SO_4 dan HNO_3 dapat meningkatkan dispersi hingga sifat CNT yang semakin hidrofilik (Osorio, 2008).



Gambar 2. 2 Analisa Dispersi CNT pada Aqueous Media untuk CNT, CNTsnc (Osorio, 2008)



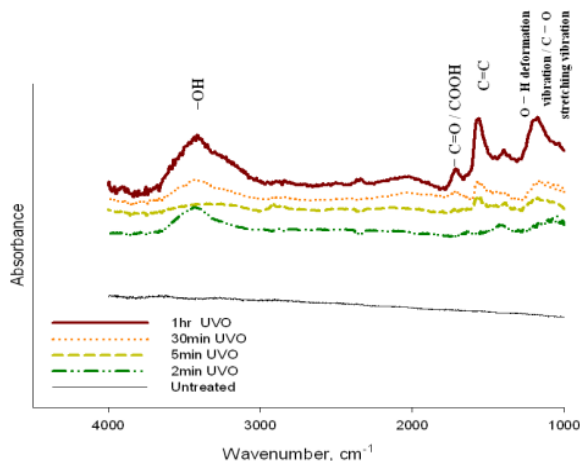
Gambar 2. 3 Analisa Dispersi CNT pada Aqueous Media untuk CNTsn, CNTn (Osorio, 2008)

Dari **Gambar 2.2** dan **Gambar 2.3** dapat diketahui bahwa tingkat dispersi pada CNT yang telah difungsionalisasi dengan HCl, H₂SO₄ dan HNO₃ (CNT_{snc}) lebih baik daripada CNT dengan fungsionalisasi menggunakan H₂SO₄ dan HNO₃ (CNT_{sn}), menggunakan HNO₃ (CNT_n) maupun yang masih belum difungsionalisasi (CNT), sehingga

dapat diketahui metode *wet functionalization* yang terbaik yaitu dengan menggunakan HCl, H₂SO₄ dan HNO₃ (CNT_{snc}) (Osorio, 2008).

2. Dry Functionalization

Permukaan dari *carbon nanotube* (CNT) dapat dimodifikasi dengan *treatment* menggunakan sinar UV/ozone yang berfungsi sebagai penguat untuk nanokomposit matriks polimer. *Treatment* ini ditujukan untuk mendispersi CNT secara merata hingga menyediakan permukaan CNT dengan fungsionalisasi untuk dapat mengubah sifat dari CNT menjadi hidrofilik (Kim, 2007). Metode fungsionalisasi ini dilakukan dengan cara memaparkan sinar UV pada permukaan CNT pada jarak 5-20 cm selama \pm 30 menit (Aria, 2013).



Gambar 2. 4 Hasil Uji FTIR untuk Dry Functionalization (Kim, 2007)

Dari hasil uji FTIR pada **Gambar 2.4** dapat diketahui bahwa tidak terdapat gugus

fungsi yang signifikan pada CNT yang masih belum dilakukan *treatment*. Setelah *treatment*, *peak* pada 1174, 1570, 1660, 1716 dan 3100-3400 cm^{-1} dengan ikatan C=O, O-H dan C-O pada gugus fungsi COOH mulai muncul, dan menjadi semakin bertambah seiring dengan meningkatnya waktu paparan sinar UV (Kim, 2007).

II.8 Karakterisasi dan Uji Analisa Membran

1. Karakterisasi Membran

Untuk mengetahui morfologi dari membran hingga mengetahui keberadaan gugus-gugus fungsi pada CNT guna memastikan sifat hidroksil pada CNT, maka dilakukan uji karakterisasi yaitu:

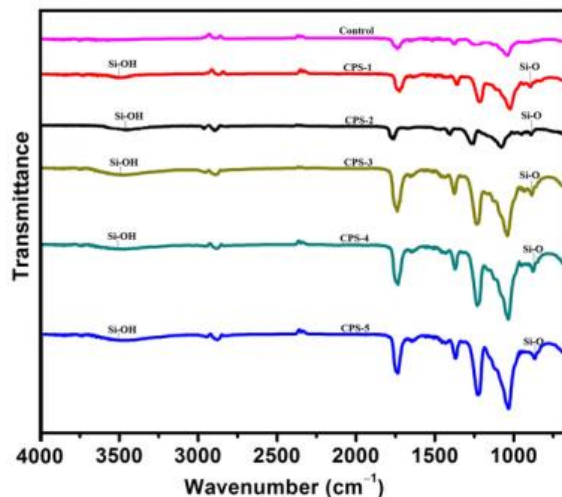
a. *Fourier Transform-Infra Red Spectroscopy* (FTIR)

FTIR merupakan teknik pengujian yang digunakan untuk menganalisa komposisi kimia dari senyawa-senyawa organik, polimer, hingga senyawa-senyawa anorganik. Uji ini mampu menganalisa suatu material baik secara keseluruhan, lapisan tipis, cairan, padatan, pasta, serbuk, serat, dan bentuk yang lainnya dari suatu material. Spektroskopi FTIR tidak hanya mempunyai kemampuan untuk analisa kualitatif namun juga untuk analisa kuantitatif.

Mekanisme yang terjadi pada alat FTIR dapat dijelaskan sebagai suatu sinar yang datang dari sumber sinar akan diteruskan, kemudian akan dipecah oleh pemecah sinar menjadi dua bagian sinar yang saling tegak lurus. Sinar ini kemudian dipantulkan oleh dua cermin yaitu cermin diam dan cermin bergerak. Sinar hasil pantulan kedua cermin akan dipantulkan kembali menuju pemecah sinar untuk saling berinteraksi. Dari pemecah sinar, sebagian sinar akan diarahkan menuju cuplikan dan sebagian menuju sumber. Gerakan cermin yang maju

mundur akan menyebabkan sinar yang sampai pada detektor akan berfluktuasi. Sinar akan saling menguatkan ketika kedua cermin memiliki jarak yang sama terhadap detektor, dan akan saling melemahkan jika kedua cermin memiliki jarak yang berbeda. Fluktuasi sinar yang sampai pada detektor ini akan menghasilkan sinyal pada detektor yang disebut *interferogram*, dimana sinyal ini akan diubah menjadi spektra IR berdasarkan operasi matematika.

Gugus fungsional yang terbentuk dari fungsionalisasi CNT dapat ditunjukkan dengan adanya *peak* pada uji FTIR. Hal tersebut menunjukkan bahwa fungsionalisasi merubah sifat CNT yang pada awalnya hidrofobik menjadi hidrofilik (Shirazi, 2011). **Gambar 2.5** berikut menunjukkan contoh hasil analisa morfologi membran dengan menggunakan FTIR (Ahmad, A., 2014).

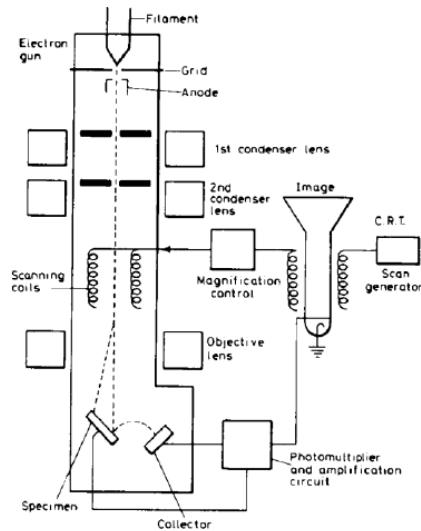


Gambar 2. 5 Contoh Hasil Analisa Morfologi Membran dengan Menggunakan FTIR (Ahmad, A., 2014)

b. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

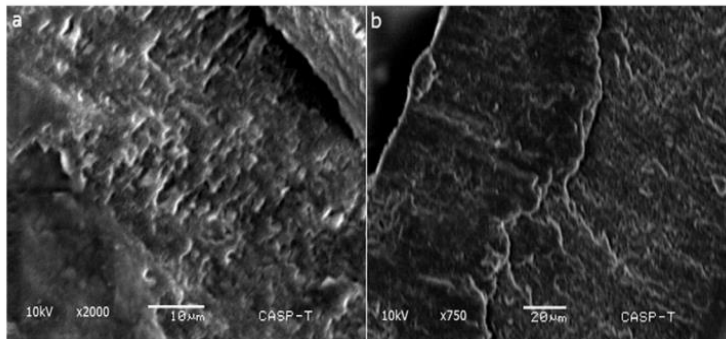
Pengujian SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan bahan. Karakterisasi bahan menggunakan SEM dimanfaatkan untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butiran, cacat struktural, dan komposisi pencemaran suatu bahan. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi ini dapat dilihat secara langsung pada hasil SEM berupa *Scanning Electron Micrograph* yang menyajikan bentuk tiga dimensi berupa gambar atau foto. Mikroskop ini digunakan untuk mempelajari struktur permukaan objek, yang secara umum diperbesar antara 1000-40000 kali. Hasil SEM yang berupa gambar morfologi menyajikan bentuk permukaan bahan dengan berbagai lekukan dan tonjolan (Smallman, 1999).

Prinsip kerja dari alat ini dapat dijelaskan sebagai berikut: sumber elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Jika elektron tersebut berinteraksi dengan bahan atau spesimen, maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. *Scanning* pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur *scanning generator* dan *scanning coils*. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan spesimen ditangkap oleh detektor SE (*Secondary Electron*) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh *amplifier* dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (CRT) (Smallman, 1999). Skema dasar SEM disajikan dalam **Gambar 2.6**.



Gambar 2. 6 Skema Dasar Scanning Electron Microscopy (Smallman, 1999)

Pada **Gambar 2.7** berikut ditunjukkan contoh hasil morfologi membran dengan menggunakan SEM (Ahmad, A., 2014).



Gambar 2. 7 Contoh Hasil Analisa Morfologi Membran dengan Menggunakan SEM (Ahmad, A., 2014)

2. Uji Kinerja Membran

a. Fluks Permeat

Fluks permeat (J) dapat digambarkan sebagai banyaknya *pure water* yang terkumpul per satuan waktu dan per satuan luas pada tekanan tertentu. Formula untuk mencari fluks permeat digambarkan pada persamaan berikut:

$$J = \frac{Q}{A \times t} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana J merupakan fluks permeat (L/jam.m²), Q adalah jumlah permeat (L), A adalah luasan membran (m²), dan t adalah waktu (jam) (Saljoughi, 2008).

b. Permeabilitas

Permeabilitas membran (Pm) menunjukkan toleransi membran terhadap tekanan hidrofilik. Pm dapat diperoleh dengan mengukur fluks pada tekanan tras membran yang berbeda, dimana permeabilitas membran dapat digambarkan pada persamaan:

$$Pm = \frac{J}{\Delta P} \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana Pm merupakan permeabilitas membran (L.jam⁻¹m⁻²/kPa), J adalah fluks permeat (L/jam.m²) dan ΔP merupakan perbedaan tekanan (kPa) (Ahmad, A., 2014).

c. Rijeksi Garam

Rijeksi garam (R) dapat digambarkan sebagai rasio perbedaan konsentrasi *solute* pada *feed water* dan permeat yang melewati membran. Rijeksi dapat dinyatakan pada persamaan:

$$R = (1 - \frac{C_p}{C_F}) \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana R merupakan rijeksi garam (%), C_p adalah konsentrasi *solute* pada produk dan C_F adalah konsentrasi *solute* pada *feed water* (Saljoughi, 2008).

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Deskripsi Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *functionalized Carbon nanotube* (CNT) pada membran CA/PEG dan mengetahui kinerja membran CA/PEG yang telah ditambahkan oleh *functionalized Carbon nanotube* dalam proses desalinasi. Penelitian dilakukan secara bertahap yakni dengan sintesa membran CA/PEG dengan ditambah *functionalized Carbon nanotube* dan karakterisasi kinerja membran desalinasi. Sintesa membran CA/PEG dengan penambahan *functionalized carbon nanotube* dilakukan dengan metode *phase inversion*, sedangkan dalam karakterisasi membran dilakukan beberapa analisa yaitu *Scanning Electron Microscopy (SEM)* untuk mengetahui bentuk pori dan struktur permukaan membran, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)* untuk mengetahui gugus yang terkandung dalam membran, analisa *water content* untuk mengetahui hidrofilisitas dari membran, uji fluks dan *salt rejection* untuk mengetahui performa membran dari fluks dan rijeksi garamnya.

III.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

III.2.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Cellulose acetate* (CA), sigma Aldrich
 Acetyl content : 39.8%
 Berat molekul : 30000 Da
2. *Polyethylen glycol* (PEG), sigma Aldrich
 Berat molekul : 200 Da
 Titik leleh : -65°C
3. *Carbon Nanotube* (CNT), Cheap Tubes. Inc

Jenis (MWCNT)	: <i>Multi-Walled Carbon Nanotube</i>
Outer Diameter	: 8-15 nm
Length	: 10-50 μm
Purity	: >95%
Ash	: <1.5wt%

4. Aseton teknis (99.5%)
5. HCl 2M
6. H₂SO₄ 95-97% PA
7. HNO₃ 65% PA
8. Aquades

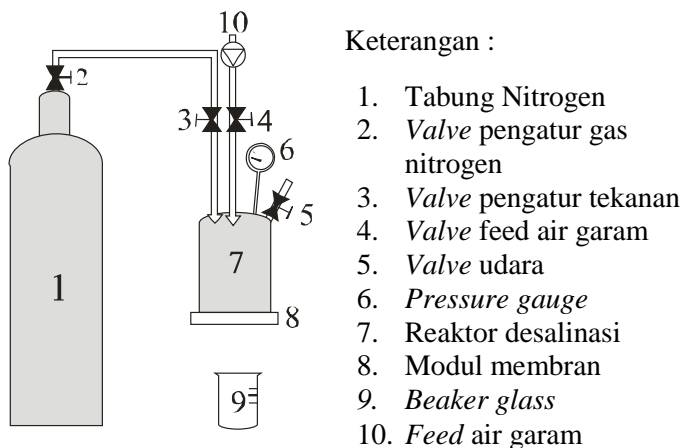
III.2.2. Alat yang Digunakan

1. Botol sampel 50 ml, Schott Duran
2. *Hotplate + stirrer*
3. *Magnetic stirrer*
4. Timbangan ohaus
5. Oven
6. *Buchner Funnel* diameter 6 cm
7. *Filtering flask* 500 ml, Schott Duran
8. Lampu UV
9. Kertas Saring Whatman
 - Diameter : 47 mm
 - Pore size : 1,5 μm
 - Thickness : 435 μm
10. Erlenmeyer 1 Lt, Pyrex Iwaki
11. Pompa vakum
12. *Scotlite*
13. *Alat uji reverse osmosis*
14. Cawan arloji
15. pH meter
16. Kertas saring
17. Lampu UV 40 W, Aquaco

III.3. Peralatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan alat utama berupa membran, alat desalinasi dan tangki yang berisi gas nitrogen.

Skema peralatan penelitian secara sistematis ditunjukkan pada **Gambar 3.1.**



Gambar 3. 1 Skema Peralatan Penelitian

III.4. Variabel Penelitian

- **Fungsionalisasi CNT**
 - Waktu fungsionalisasi : 6 jam
 - Suhu fungsionalisasi : 70°C
 - Suhu pengeringan : 70°C
- **Pembuatan Membran CA/PEG/CNT**
 - Massa *Cellulose acetate* : 2 gram
 - Massa *polyethylene glycol* : 0.5 gram
 - Volume aseton : 17 ml
 - Suhu pencampuran : 130°C
 - Suhu *casting* membran : 29°C
- **Variabel CNT** : 0.0125 g, 0.025 g, 0.0375 g, 0.05 g
- **Variabel Respon**
 - Gugus OH
 - Fluks
 - Rijeksi garam

- *Water content*

Tabel 3. 1 Penamaan Membran CA/PEG dengan Penambahan CNT

CA/PEG	CNT (g)	Nama
80/20	0	CPCU 0
80/20	0.0125	CPCU 1
80/20	0.025	CPCU 2
80/20	0.0375	CPCU 3
80/20	0.05	CPCU 4

III.5. Metodologi Penelitian

III.5.1. Fungsionalisasi *Carbon Nanotube* (CNT).

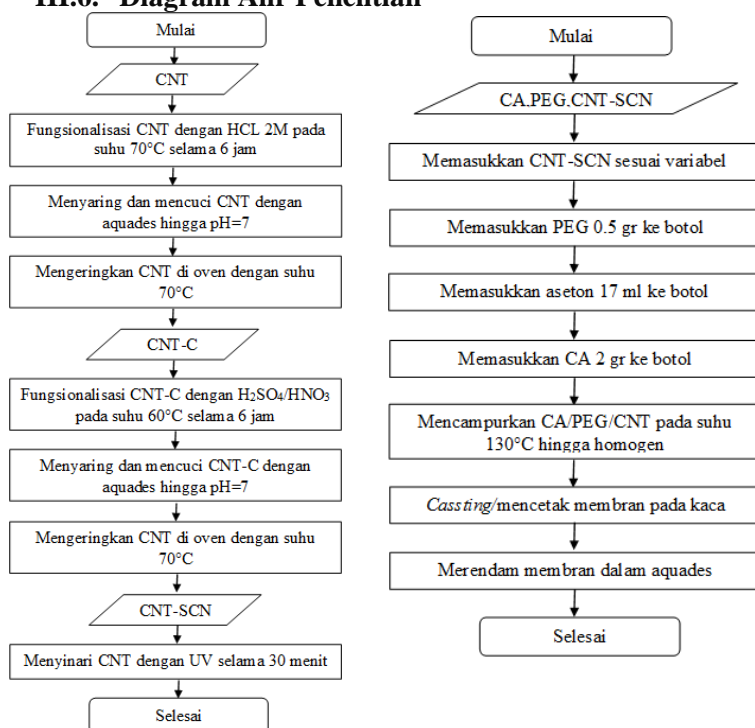
1. Mencampurkan 1.25 gr CNT dengan 500 ml HCl 2M.
2. Mengaduk dengan *magnetic stirrer* dengan suhu 70°C selama 6 jam.
3. Menyaring CNT menggunakan nylon filter 0.47 mm.
4. Mencuci CNT dengan distillate water hingga pH=7.
5. Mengeringkan CNT pada suhu 70°C hingga kering.
6. Mencampurkan CNT-C dengan H₂SO₄/HNO₃ 3:1.
7. Mengaduk dengan *magnetic stirrer* dengan suhu 70°C selama 6 jam.
8. Menyaring CNT menggunakan nylon filter 0.47 mm.
9. Mencuci CNT dengan *aquades* hingga pH=7.
10. Mengeringkan CNT pada suhu 70°C hingga kering.
11. CNT-SCN yang sudah kering disinari UV selama 30 menit.

III.5.2. Pembuatan Membran dengan Penambahan CNT

1. Mencampurkan CNT-SCN sesuai variabel (0, 0.0125, 0.025, 0.0375, 0.05) gram.

2. Mencampurkan PEG sebanyak 0,5 gram dan CA sebanyak 2 gram di dalam 17 ml aseton.
3. Mencampurkan larutan yang sudah ditambahkan CNT dengan *stirrer* hingga homogen dengan suhu 130°C
4. Mencetak membran di atas kaca.
5. Merendam membran ke dalam aquades selama 15 menit.
6. Mendinginkan membran pada suhu 29°C. Setelah itu dilakukan analisa dan uji membran

III.6. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram Alir (A) Fungsionalisasi CNT dan (B) Pembuatan Membran CA/PEG/CNT-SCN

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *functionalized carbon nanotube* terhadap membran CA/PEG terhadap kinerja dan karakteristik membran dalam proses desalinasi air. Eksperimen dilakukan secara bertahap yaitu fungsionalisasi *carbon nanotube* dengan menggunakan metode kombinasi *wet* dan *dry functionalization*, kemudian dilakukan pembuatan membran dengan menggunakan *phase inversion* dengan menambahkan *functionalized carbon nanotube*. Setelah itu dilakukan analisa untuk mengetahui karakteristik dan kinerja membran meliputi analisa morfologi membran (SEM), analisa gugus fungsional (FTIR), analisa *water content*, uji fluks dan *salt rejection*.

Dalam pembuatan membran, komposisi CA dan PEG yang digunakan yaitu 80/20 yaitu 2 gram *celullose acetate* dan 0.5 gram *polyethylene glycol* dengan pelarut aseton 17 ml. *Functionalized carbon nanotube* yang digunakan dalam pembuatan membran yaitu 0.0125, 0.025, 0.0375, 0.05 gram. Air garam yang digunakan dalam proses desalinasi untuk uji fluks dan *salt rejection* yaitu air garam sintesis dengan kadar 5000 ppm dengan volume 200 ml.

IV.1 Fungsionalisasi Carbon Nanotube

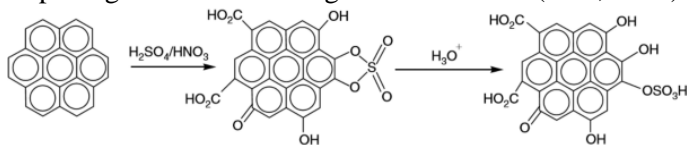
Pembuatan membran CA/PEG dengan penambahan *functionalized carbon nanotube* dimulai dengan melakukan fungsionalisasi CNT. Hal ini dilakukan untuk mengubah karakteristik CNT yang awalnya hidrofobik menjadi hidrofilik. Mengubah sifat hidrofobik menjadi hidrofilik ini yaitu dengan penambahan gugus fungsional berupa gugus hidroksil ke dalam CNT. Langkah awalnya yaitu CNT difungsionalisasi

dengan menggunakan HCl 2 M yang bertujuan untuk membersihkan CNT dari logam dan lapisan karbon amorf serta membuka *sidewall* CNT sehingga memperluas area reaksi CNT dengan gugus fungsional (Hamilton, 2013). Kemudian dilakukan fungsionalisasi selanjutnya dengan menggunakan $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$ dengan konsentrasi 65%/97% dan perbandingan 3:1 (%v). Digunakan perbandingan $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$ 3:1 karena memiliki tingkat fungsionalisasi yang tinggi terhadap CNT (Wepasnick, 2011). Pada fungsionalisasi ini terjadi reaksi sulfonasi dan karboksilasi sulfonasi adalah reaksi yang melibatkan penggabungan gugus asam sulfonat ke dalam suatu molekul, sedangkan karboksilasi adalah penggabungan gugus karboksil dalam suatu molekul.

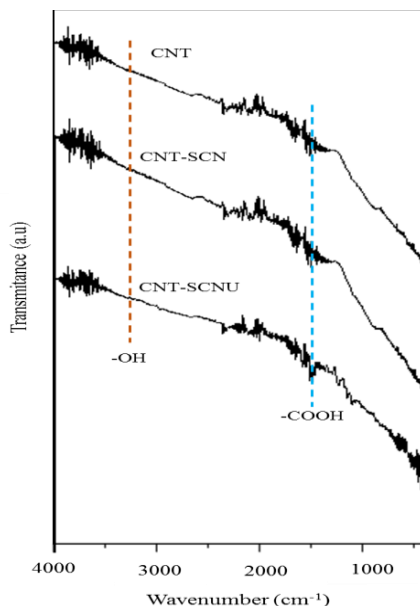
Pada **Gambar 4.1** terlihat fungsionalisasi CNT menggunakan $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ menginisiasi terbentuknya gugus fungsional karboksilat dan hidroksil sepanjang *sidewall* CNT. Keberadaan gugus fungsional ini akan menurunkan gaya *van der waals* antar molekul CNT yang mendorong terpotongnya CNT menjadi *single tube* sehingga CNT menjadi hidrofilik dan dapat larut dalam pelarut (Burghard, 2005). CNT yang telah difungsionalisasi dengan *wet method* ini dinamai CNT-SCN. Kemudian CNT yang telah difungsionalisasi dengan *wet method* (CNT-SCN) difungsionalisasi kembali dengan UV. Dari fungsionalisasi dengan UV terjadi fungsionalisasi karbon pada *sidewall* CNT yang belum mengalami fungsionalisasi (Bitter, 2014). CNT yang telah difungsionalisasi dengan *wet method* dan *dry method* ini dinamai CNT-SCNU.

Hasil fungsionalisasi pada CNT dapat dilihat dari uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)* yang terdapat pada **Gambar 4.2**. Pada analisa FTIR ini dapat diketahui adanya gugus fungsi yang terdapat pada CNT. Pada CNT dapat diindikasikan terdapat gugus $-\text{COOH}$ dan $-\text{OH}$ pada panjang gelombang $1400\text{--}1730\text{ cm}^{-1}$ serta $3300\text{--}3700\text{ cm}^{-1}$. Pada panjang gelombang yang sama, CNT-SCN dan CNT-SCNU menunjukkan *peak* yang lebih besar dari CNT yang

diketahui dari luas area *peak*. Hal ini menunjukkan bahwa fungsionalisasi yang dilakukan pada CNT dengan metode *wet* dan *dry* mampu mengubah karakteristik dari CNT dengan adanya gugus fungsional yang terdapat pada CNT. Hal ini sesuai dengan dengan literatur yang menunjukkan fungsionalisasi *wet* dan *dry* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk fungsionalisasi CNT (Kim, 2007).



Gambar 4. 1 Reaksi Penambahan HNO₃/H₂SO₄ Pada CNT (Lin, 2003)

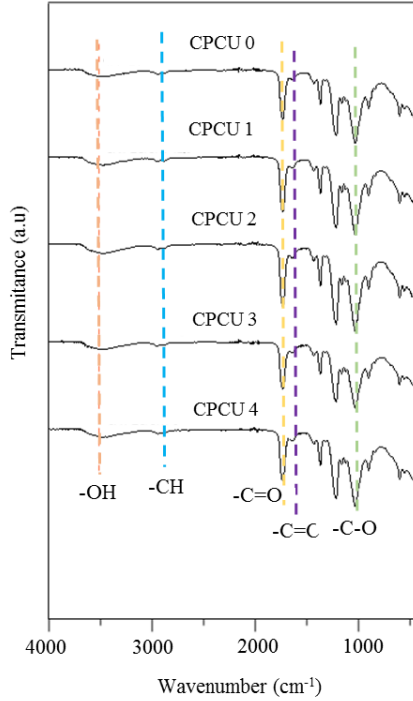


Gambar 4. 2 Grafik FTIR CNT dan *Functionalized* CNT

IV.2 Analisa *Fourier Transformed Infrared Spectroscopy*

Berdasarkan **Gambar 4.3** dapat diketahui bahwa pada membran CPCU 0 hingga CPCU 4 terdapat gugus –OH yang ditunjukkan pada *peak* dengan panjang gelombang 3300–3700 cm^{-1} , gugus –CH pada panjang gelombang 2800 – 3000 cm^{-1} , gugus C-O pada panjang gelombang 1300 cm^{-1} , gugus C=C pada panjang gelombang 1680 cm^{-1} , serta gugus C=O pada panjang gelombang 1700 cm^{-1} (Kim, 2007).

Hidrofilisitas membran dapat dilihat dari analisa FTIR yang ditunjukkan dengan adanya gugus fungsi –OH (Wepasnick, 2011). Terlihat bahwa dengan penambahan CNT dari 0.0125 gram hingga 0.05 gram maka luas area *peak* pada gugus –OH semakin besar. Luas area *peak* –OH untuk tiap membran disajikan pada **Tabel 4.1**. Dapat diketahui bahwa *peak* gugus fungsi –OH semakin besar dengan penambahan CNT hingga penambahan CNT 0.05 gram. Terlihat bahwa luas area *peak* terbesar dari CPCU 0 hingga CPCU 4 yaitu pada membran CPCU 4 dengan luas area 453 mm^2 dengan peningkatan 93.59% dari CPCU 0.



Gambar 4. 3 Grafik FTIR Membran CA/PEG/CNT

Tabel 4. 1 Luas Area *Peak* -OH Pada Membran

Membran	Luas Area (mm ²)	Peningkatan (%)
CPCU 0	234	
CPCU 1	262	11.97
CPCU 2	348	48.72
CPCU 3	389	66.24
CPCU 4	453	93.59

IV.3 Analisa *Water Content*

Tabel 4. 2 Analisa *Water Content*

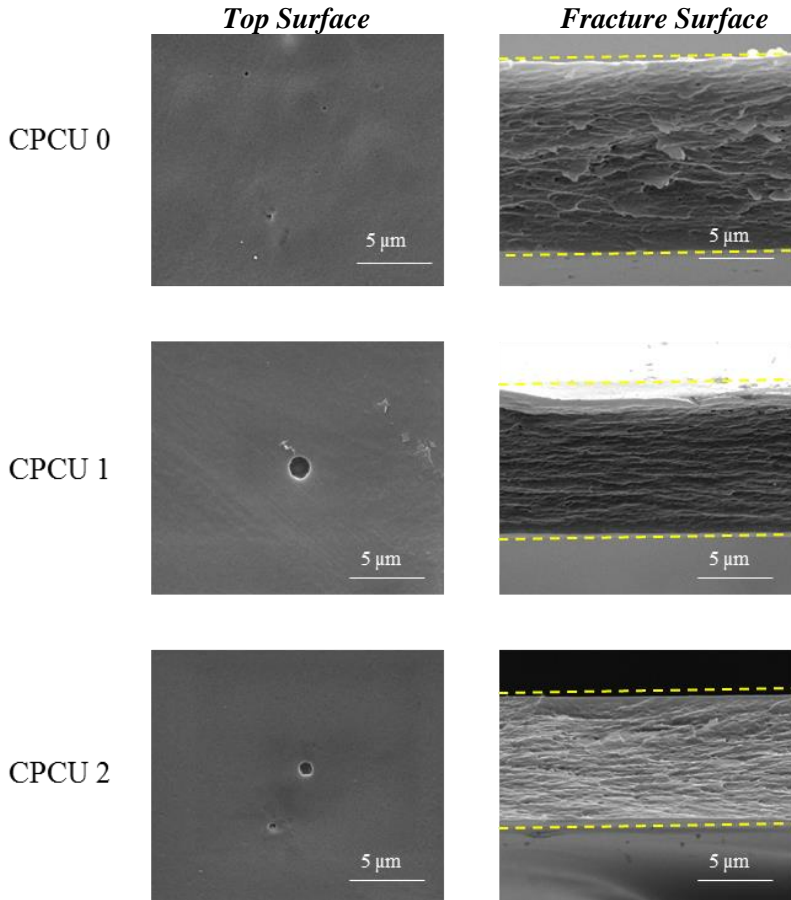
Membran	<i>Water Content</i> (gr/15 sec)	Peningkatan (%)
CPCU 0	0.0057	
CPCU 1	0.0068	19.2
CPCU 2	0.007	22.8
CPCU 3	0.0086	54.4
CPCU 4	0.0089	57.9

Analisa *water content* dilakukan untuk mengetahui kemampuan membran dalam menyerap air (hidrofilisitas). Analisa *water content* ini dilakukan dengan menghitung selisih massa basah dengan massa kering. Massa basah adalah massa membran setelah ditetesi air dan didiamkan selama 15 detik, sedangkan massa kering adalah massa membran sebelum ditetesi air. Dapat terlihat pada **Tabel 4.2** bahwa *water content* pada CPCU 0 adalah 0.0057, kemudian akan meningkat seiring dengan penambahan CNT dari CPCU 1 hingga CPCU 4, dimana *water content* maksimum pada CPCU 4 yaitu 0.009 dengan peningkatan sebesar 57.9% dari CPCU 0. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan CNT maka akan semakin meningkatkan hidrofilisitas dari membran. Analisa ini mendukung FTIR dimana gugus fungsi –OH yang berperan dalam hidrofilisitas membran, memiliki luas area *peak* yang semakin meningkat dengan penambahan CNT dari CPCU 1 hingga CPCU 4.

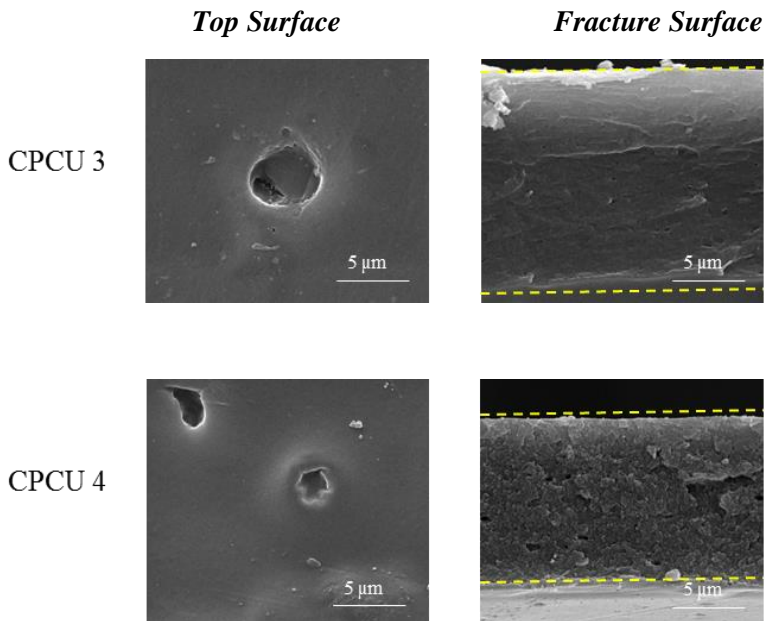
IV.4 Analisa *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Metode analisa yang sering digunakan untuk mengetahui struktur morfologi membran yaitu analisa *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Dari uji SEM dapat diketahui hasil analisa berupa gambar struktur morfologi membran dengan berbagai lekukan dan tonjolan dari bagian

permukaan (*top surface*) dan bagian patahan (*fracture surface*).



Gambar 4.4 Hasil Analisa SEM dengan Gambar Penampang *Top Surface* dan *Fracture Surface*



Lanjutan Gambar 4.5 Hasil Analisa SEM dengan Gambar Penampang *Top Surface* dan *Fracture Surface*

Gambar 4.4 merupakan gambar penampang *top surface* dan *fracture surface* pada membran. Berdasarkan gambar penampang *fracture surface* terlihat bahwa pori semakin bertambah kecil dengan penambahan CNT dari CPCU 1 hingga CPCU 3, kemudian naik kembali pada penambahan CNT CPCU 4. Hal ini menunjukkan bahwa CNT terdispersi kedalam CA/PEG sehingga dapat mempengaruhi struktur membran.

Dalam analisa SEM ini juga dapat diketahui ukuran pori dari membran. Dalam penentuan pori membran ini, diukur tiap pori membran kemudian di rata-rata. Ukuran pori dari tiap membran data dilihat dalam **Tabel 4.3**. Berdasarkan data pada **Tabel 4.3**, terlihat bahwa ukuran pori membran semakin

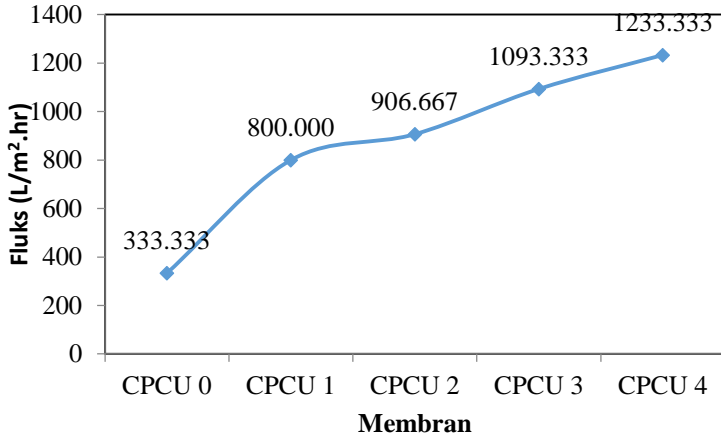
bertambah kecil seiring dengan penambahan CNT hingga CPCU 3, namun kembali naik pada CPCU 4. Berdasarkan ukuran porinya, membran ini tergolong membran mikrofitasi dengan ukuran pori 100-10.000 nm (Baker, 2004). Ukuran pori yang terbentuk ini disebabkan karena proses presipitasi imersi, dimana proses ini dilakukan dengan cara mencelupkan *casting* membran ke dalam bak koagulasi yang berisi non-pelarut (air). Pada bak koagulasi, pelarut akan berdifusi ke dalam membran polimer. Setelah proses difusi ini, membran menjadi tidak stabil dan akhirnya terjadi *demixing*. Kecenderungan kelarutan pelarut dengan non pelarut (air) berurutan DMF > dioksan > aseton > THF. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penggunaan pelarut aseton akan menghasilkan mekanisme *delayed demixing*, dimana akan menghasilkan pori yang lebih rapat. Penambahan CNT ini akan menggantikan struktur pori pada membran sehingga pori pada membran tertutup oleh CNT (Kim, 2013).

Membran mikrofiltrasi tidak berbeda secara fundamental dengan *reverse osmosis*, ultra filtrasi maupun nano filtrasi, kecuali dalam hal ukuran partikel yang dihilangkannya. Namun karena pada *reverse osmosis* memiliki ukuran pori yang terkecil hingga 0.0001 μm , maka jenis membran ini dapat menghasilkan air olahan yang dapat menyaring zat dengan molekul yang sangat kecil yang tidak dapat diolah oleh proses mikro filtrasi, ultra filtrasi maupun nanofiltrasi. Membran *reverse osmosis* juga memiliki kemampuan untuk mengurangi pencemar *suspended* maupun *dissolved solid* (Metcalf, 2004).

Tabel 4. 3 Ukuran Pori Membran

Membran	Ukuran Pori (nm)
CPCU 0	300
CPCU 1	285
CPCU 2	222
CPCU 3	143
CPCU 4	174

IV.5 Uji Fluks

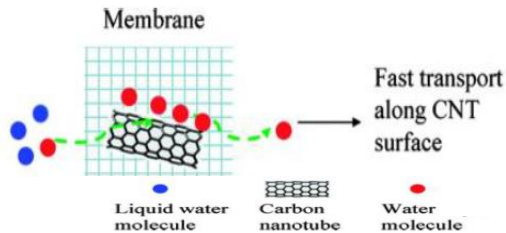


Gambar 4. 6 Hasil Analisa Uji Fluks

Uji fluks permeat digambarkan sebagai banyaknya *pure water* yang terkumpul per satuan waktu dan per satuan luas pada tekanan tertentu. Berdasarkan **Gambar 4.6**, fluks permeat untuk membran CPCU 0 yaitu 333.33 L/m².hr, kemudian semakin meningkat seiring dengan penambahan CNT dari CPCU 1 hingga CPCU 4. Fluks terbesar terdapat pada membran CPCU 4 dengan fluks sebesar 1233.33 L/m².hr.

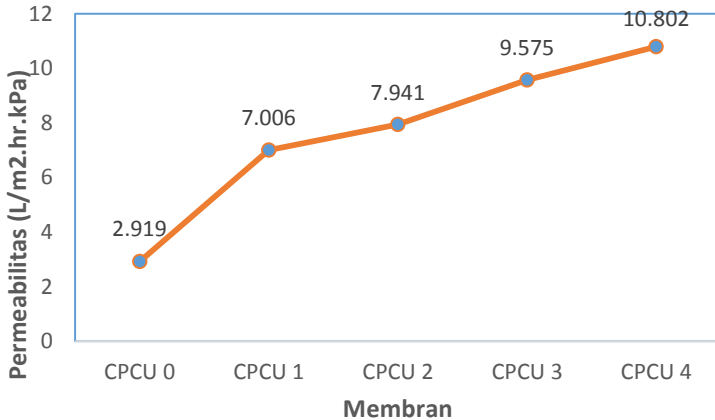
Kecenderungan peningkatan fluks permeat mulai dari CPCU 1 hingga yang tertinggi pada CPCU 4 dalam hasil analisa fluks ini didukung oleh hasil analisa *water content* yang menunjukkan dengan penambahan CNT dari CPCU 1 hingga CPCU 4 *water content* terus meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan membran dalam menyerap air semakin meningkat, sehingga fluks permeat yang melewati membran juga akan semakin tinggi seiring dengan penambahan CNT pada membran. Hasil analisa ini juga didukung dengan hasil analisa FTIR dimana luas area *peak* gugus -OH meningkat seiring dengan penambahan CNT, sehingga kemampuan membran dalam menyerap air juga meningkat. Hasil analisa

fluks ini sesuai literatur bahwa penambahan CNT akan meningkatkan fluks membran, dimana CNT yang terdispersi dalam CA/PEG akan memberikan jalan tercepat untuk molekul air pada saat melewati membran seperti pada **Gambar 4.7**, sehingga semakin bertambahnya CNT yang ditambahkan maka molekul air yang melewati membran akan semakin banyak dan mengakibatkan fluks yang dihasilkan akan meningkat (Kim, 2013).



Gambar 4.7 Mekanisme Transport Air Pada Membran yang Mengandung CNT (Gethard, 2011)

IV.6 Permeabilitas

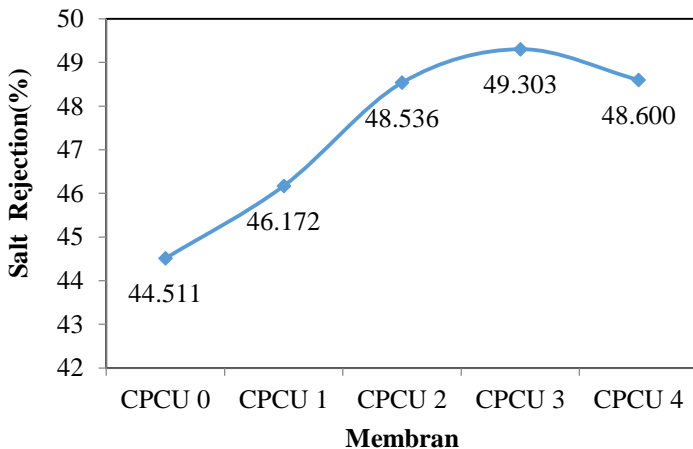


Gambar 4.8 Hasil Analisa Permeabilitas

Permeabilitas membran dapat menunjukkan toleransi membran terhadap tekanan hidrofilik. Dari **Gambar 4.8** dapat diketahui bahwa permeabilitas pada membran CPCU 0 yaitu 2.919 L/m².hr.kPa dan semakin meningkat seiring dengan penambahan CNT dari CPCU 1 hingga CPCU 4, sehingga dari eksperimen dapat diketahui bahwa membran dengan permeabilitas tertinggi yaitu pada penambahan 0.05 gram CNT (CPCU 4) dengan harga sebesar 10.802 L/m².hr.kPa.

Pada uji permeabilitas membran ini, kecenderungan peningkatan permeabilitas mulai dari CPCU 1 hingga yang tertinggi pada CPCU 4 sesuai dengan hasil analisa fluks permeat yang menunjukkan dengan penambahan CNT dari CPCU 1 hingga CPCU 4, harga fluks permeat terus meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa nilai fluks permeat berbanding lurus dengan harga permeabilitas membran.

IV.7 Uji Salt Rejection



Gambar 4. 9 Hasil Analisa *Salt Rejection*

Salt Rejection dapat digambarkan sebagai rasio perbedaan konsentrasi *solute* pada *feed water* dan permeat yang melewati membran. Berdasarkan **Gambar 4.9** hasil *salt rejection* dapat diketahui bahwa semakin bertambahnya CNT, kecenderungan *salt rejection* akan semakin meningkat hingga maksimal di CPCU 3 yaitu dengan 49.299%. Hasil rejeksi ini lebih baik daripada CPCU 0 yaitu sebesar 44.507%. Hasil *salt rejection* yang meningkat ini disebabkan CNT merupakan nanopartikel dengan diameter 0.6-1.1 nm yang telah difungsionalisasi dapat menahan ion yang larut dalam air. Akan tetapi, pada membran CPCU 4 mengalami penurunan *salt rejection* yang dikarenakan ukuran pori pada membran CPCU 4 lebih besar dari ukuran pori membran CPCU 3. Semakin besar ukuran pori maka garam yang lolos dari membran juga akan bertambah sehingga menurunkan *salt rejection* dari membran (Kim, 2013). Selain itu, turunnya *salt rejection* pada CPCU 4 ini terdapat kecenderungan bahwa pada CPCU 4, CNT teraglomerasi sehingga membentuk ukuran pori yang lebih besar (Kim, 2013). Apabila dibandingkan dengan membran komersial seperti *Morui Reverse Osmosis Membrane* yang memiliki *salt rejection* 99.5%, membran hasil penelitian ini masih perlu dilakukan penyempurnaan karena *salt rejection* yang dihasilkan lebih kecil dari membran komersial, salah satunya dengan menggunakan bahan nanopartikel yang lain sehingga didapatkan ukuran pori membran *reverse osmosis*. Namun apabila dalam segi permeabilitas, membran hasil penelitian ini memiliki performa yang lebih tinggi dari pada membran komersial yang mempunyai permeabilitas sebesar 0.041 L/m².hr.kPa (www.alibaba.com).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan pada 2015 oleh Nurkhamidah, diperoleh performa membran polimer CA/PEG dengan penambahan CNT untuk fluks permeat dan *salt rejection* masing-masing sebesar 86.9 L/m².hr dan 47.345%, sedangkan pada eksperimen diperoleh hasil performa membran yang terbaik untuk fluks permeat yaitu

pada penambahan CNT 0.05 gram sebesar 1233.33 L/m².hr dan untuk *salt rejection* yang tertinggi yaitu pada penambahan CNT 0.0375 gram sebesar 49.303 %.

Dari hasil eksperimen yang diperoleh maka dapat direkomendasikan untuk performa membran apabila diinginkan hasil fluks permeat yang tinggi yaitu dengan menggunakan membran polimer CA/PEG dengan penambahan *functionalized* CNT sebanyak 0.05 gram, sedangkan apabila diharapkan performa yang baik untuk membran desalinasi khususnya dalam hal pengurangan kadar garam pada air asin maka direkomendasikan menggunakan membran polimer CA/PEG dengan penambahan *functionalized* CNT sebanyak 0.0375 gram.

BAB V

KESIMPULAN

V.1. Kesimpulan

Dari hasil percobaan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hidrofilisitas membran CA/PEG meningkat dengan penambahan CNT hingga penambahan CNT 0.05 gr (CPCU 4) yang ditunjukkan dengan peningkatan luas area *peak* gugus –OH pada analisa FTIR yaitu 453 mm² dengan peningkatan sebesar 93.59% dari CPCU 0 serta peningkatan kemampuan penyerapan air pada uji *water content* 0.0089 gr/15 *sec* dengan peningkatan sebesar 57.9% dari CPCU 0 .
2. Fluks *permeate* meningkat dengan penambahan CNT, dimana membran dengan fluks permeat tertinggi yaitu pada membran dengan penambahan CNT 0.05 gr (CPCU 4) yaitu 1233.33 L/m².hr
3. Membran dengan *salt rejection* tertinggi yaitu pada membran dengan penambahan CNT 0.0375 gr (CPCU 3) yaitu sebesar 49.303 %.

V.2. Saran

Dari hasil percobaan saran yang dapat diberikan yaitu :

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk membran dengan metode fungsionalisasi yang lain seperti *zwitterion functionalization*.
2. Perlu adanya penelitian dengan menggunakan bahan nanopartikel yang lain sehingga didapatkan ukuran pori membran *reverse osmosis*.

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Syahril. 2005. *Pembuatan Membran Selulosa Asetat Pada Berbagai Variasi Komposisi Polimer, Jenis Pelarut dan Konsentrasi Aditif*. Bandung: LIPI
- Ahmad, Zaki Fuad. 2014. *Pengaruh Penambahan Lateks pada Inti Bendungan terhadap Besarnya Debit Rembesan*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia
- Aria, Adrianus I.; Gharib, Morteza. 2013. *Dry Oxidation and Vacuum Annealing Treatments for Tuning the Wetting Properties of Carbon Nanotube Arrays*. *Journal of Visualized Experiments*. 74:1-9
- Arthanareeswaran, G.; Thanikaivelan, P.; Srinivasn, K.; Mohan, D.; Rajendran, M. 2004. *Synthesis, Characterization and Thermal Studies on Cellulose Acetate Membranes with Additive*. *European Polymer Journal*. 40:2153-2159
- Baker, R.W. 2004. *Membrane Technology and Application 2nd edition*. California : Mc Graw – Hill
- Batmanghelidj, M.D. 2003. *Water for Health, for Healing, for Life*. New York: Warner Book Time
- Bitter, J.L.; Yang, J.; Beigzadeh Milani, S.; Jafvert, C.T.; Fairbrother. D.H. 2014. *Transformation of Oxidized Multiwalled Carbon Nanotubes Exposed to UV (254 nm) Irradiation*. *Environment Science Nanotechnology* 324 – 337
- Burghard, M Balasubramanian, K. 2005. *Chemically Functionalized CNT*. *www.small-journal.com*. 2:180-192
- Das, R.; Eaquib Ali, Md.; Hamid, S. B. Abd.; Ramakrishna, S.; Chowdury, Z. Z. 2014. *Carbon Nanotube Membranes for Water Purification. A Bright Future in Water Desalination*. *Desalination*. 365:70-78

- Fritzmann, C; Lowenberg, J; Wintgens, T; Melin, T. 2006. *State of the art of Reverse Osmosis Desalination*. *Desalination* 1-76
- Gethard, K; Sae-Khow, O; Mitra, S. 2011. *Water Desalination Using Carbon Nanotub-Enhanced Membrane Distillation*. *ACS Appl. Mater. Interface*. 3:110 – 114
- Hamilton, Raymond; Wu, Zheqiong; Mitra, Somenath; Shaw, Pamela; Holian, Andrij. 2013. *Effect of MWCNT Size, Carboxylation and Purification on in vitro and in vivo Toxicity, Inflammation and Lung Pathology*. *Particle and Fibre Toxicology*, 10 – 57
- Heitmann, G. 1990. *Saline Water Processing*. VCH Publisher. New York
- Kim, Jang-Kyo; Lung, Man. 2007. *Functionalization of Carbon Nanotube Surface Via UV/O₃ Treatment*. *Solid State Phenomena*. 121-123:1407-1410
- Kim, Hee Joong; Choi, Kwonyong; Baek, Yongbin. 2013. *High Performance Reverse Osmosis CNT/Polyamide Nanocomposite Membrane by Controlled Interfacial Interactions*. *ACS Publication of Applied Materials and Interfaces*, 2819 - 2829
- Kulstreshtha, N Surendra. 1998. *A Global Outlook for Water Resources to the Year 2025*. *Water Resource Management* vol. 1184.2, pp. 167
- Kucera, J. 2015. *Reverse Osmosis: Design, Processes, and Application for Engineer 2nd Edition*. Canada: Scrivener Publishing
- Lee, K. P; Arnot, T. C; Matia, D. 2011. *A Review of Reverse Osmosis Membrane Materials for Desalination – Development to Date and Future Potential*. *Journal of Membrane Science*, 370: 1 – 22
- Li, D.; Krantz, W. B.; Greenberg, A. B.; Sani, R. L. 2006. *Membrane Formation via Thermally Induced Phase Separation (TIPS): Model Development and Validation*. *Journal of Membrane Science*. 279:50-60

- Lin, T.; Bajpai, V.; Ji, T.; Dai, L. 2003. *Chemistry of Carbon Nanotubes*. *Aust. J. Chem.* 56:635-651
- Metcalf and Eddy. 2004. *Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse, Fourth Edition*, McGraw-Hill, Inc. New York, St. Fransisco, Auckland
- Mulder, M. 1996. *Basic Priciple of Membrane Technology*. 2nd Edition. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher
- Ng, K. C; Thu, K; Oh, S. J; Ang, L; Shahzad, M.W; Bin Ismail, A. 2015. *Recent Development in Thermally-driven Seawater Desalination: Energy Efficiency Improvement by Hybridization of The MED and AD Cycles*. *Desalination*. 356:255-270
- Nurkhamidah, S.; Rahmawati, Y.; Taufany, F.; Merta,I.M.P.A.; Putra, D.D.D. 2015. *Synthesis of Polymeric Membrane for Desalination Process*. *Proceeding ISST Seminar*
- Nurkhamidah, S.; Rahmawati,Y.; Taufany, F.; Merta,I.M.P.A.; Putra, D.D.D.; Woo, E.M. 2015. *Effect of Silica Particle Size in Cellulose Membrane for Desalination Process*. *Conference Proceeding*, 1699
- Osorio, A.G.; Silveira, I.C.L.; Bueno, V.L.; Bergmann, C.P. 2008. *H2SO4/HNO3/HCl—Functionalization and Its Effect on Dispersion of Carbon Nanotubes in Aqueous Media*. *Journal of Membrane Science*. 255:2485-2489
- Ren, J.; Wang, R. 2011. *Preparation of Polimeric Membranes: Handbook of Environmental Engineering. Membrane and Desalination Technology*. 13:47- 100
- Ryan, Bagus Fitradi. 2015. *Preparasi dan Modifikasi Membran untuk Pengolahan Air*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Saljoughi, Ehsan; Sadrza, Mohtada; Mohammadin, Toraj. 2008. *Effect of Preparation Variables on Morphology and pure water permeation flux through asymmetric cellulose acetate membranes*. *Journal of Membrane Science*. 326, 627 – 634

- Sears, Kallista; Dumeé, Ludovic; Schutz, Jurg, et. Al. 2010. *Recent Development in Carbon Nanotube Membranes for Water Purification and Gas Separation. Materials*, 127 - 149
- Shirazi, Y.; Tofighy, M. A.; Mohammadi, T.; Pak, A. 2011. *Effect of Different Carbon Precursors on Synthesis of Multiwall Carbon Nanotubes: Purification and Functionalization. Applied Surface Science*. 257:7359-7367
- Smallman, R.E; Bishop, R. J. 1999. *Modern Physical Metallurgy and Material Engineering*. Oxford. Butterworth Heinaemann
- Wepasnick, Kevin A.; Smith, Billy A.; Schrote, Kaitlin E.; Wilson, Hannah K.; Diegelmann, Stephen R.; Fairbrother, D. Howard. 2011. *Surface and Structural Characterization of Multi-Walled Carbon Nanotubes Following Different Oxidative Treatments. Journal of Membrane Science*. 49:24-36
- Zotalis, Konstantinos; Dialynas, Emmanuel; Mamassis, Nikolaos. 2016. *Desalination Technologies. Water* 6. 1134 – 1150
- www.alibaba.com. *Morui Membrane 4040 Industrial Reverse Osmosis RO Membrane 4x40 for Housing*, diakses pada 26 Juli 2017

DAFTAR NOTASI

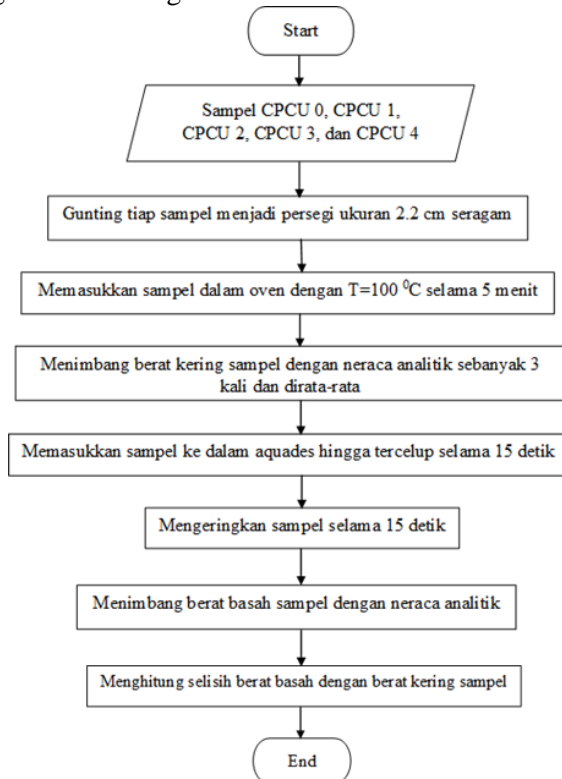
P	= tekanan (bar)
T	= suhu (K)
ΔP	= perbedaan tekanan antara <i>feed</i> dan <i>permeate</i> (bar)
A	= <i>surface area</i> dari membran (m^2)
t	= waktu (jam)
P _m	= permeabilitas membran ($\text{L.jam}^{-1}\text{m}^{-2}/\text{kPa}$)
J	= fluks <i>permeate</i> ($\text{L.m}^{-2}.\text{jam}^{-1}$)
Q	= jumlah permeat (L)
C _p	= kadar garam pada <i>permeate</i> (ppt)
C _f	= kadar garam pada <i>feed</i> (ppt)
R	= rijeksi garam (%)

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)

APPENDIKS A METODE ANALISA

A.1. Analisa *Water Content*

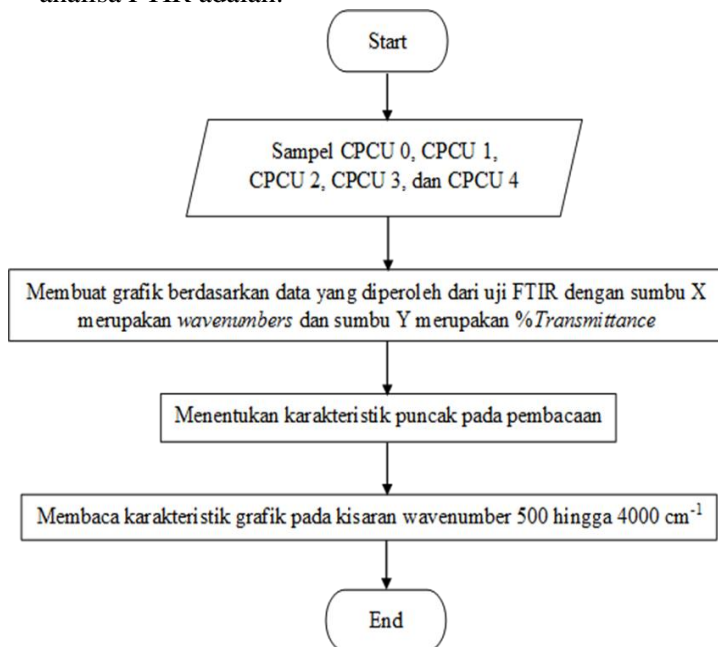
Analisa *water content* berfungsi untuk mengetahui kemampuan membran dalam menyerap air (hidrofilisitas). Hasil analisa *water content* yaitu selisih antara berat basah dengan berat kering. Cara analisa *water content* adalah:



Gambar A. 1 Flow Diagram Analisa *Water Content*

A.2. Analisa *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Analisa *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) adalah metode analisa untuk mengetahui gugus yang ada dalam CNT dan membran. Dalam uji ini difokuskan pada gugus fungsional -OH dan C-O, sebab gugus ini menggambarkan hidrofilisitas dari CNT dan membran. Cara analisa FTIR adalah:



Gambar A. 2 Flow Diagram Analisa FTIR

A.3. Analisa *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Analisa *Scanning Electron Microscopy* (SEM) bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan membran. Hasil yang didapatkan adalah gambar membran dengan perbesaran 10.000x, 15.000x, dan 20.000x dimana yang diamati adalah pori dari membran tersebut. Diharapkan pori

yang didapatkan yaitu pori dengan ukuran yang lebih kecil dari ukuran partikel garam, sehingga kinerja membran dalam menyaring garam dapat lebih efektif.

A.4. Analisa Uji Desalinasi

Analisa uji desalinasi berfungsi untuk mengetahui kinerja membran dalam proses desalinasi. Kondisi operasi yang digunakan yaitu tekanan sebesar 3 bar dengan suhu operasi 29 °C. Hasil yang didapatkan yaitu fluks, permeabilitas dan *salt rejection* dari membran. Langkah kerja uji desalinasi yaitu:

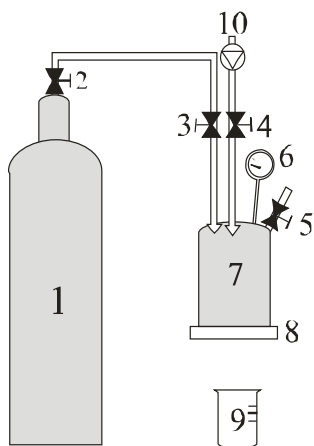
A. Preparasi Membran

1. Menyiapkan membran yang akan di uji desalinasi. Dalam uji desalinasi disiapkan membran CA/PEG/CNT 0.0125 gr, 0.025 gr, 0.0375 gr, 0.050 gr.
2. Memotong membran dan kertas saring menjadi berukuran 3 x 3 cm sesuai dengan ukuran lubang pada akrilik.
3. Merekatkan kertas saring dan membran yang sudah dipotong pada permukaan akrilik tepat diatas lubang akrilik dengan *scotlite*.



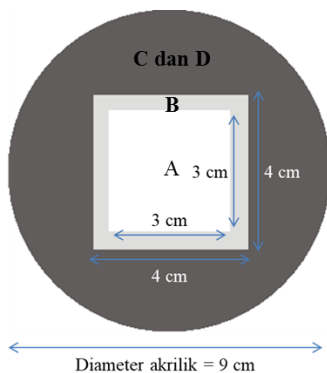
Gambar A. 3 Penampang Horizontal Akrilik dan Membran

4. Memasukkan akrilik dalam alat desalinasi.
5. Mengunci dan memastikan sambungan pada alat uji desalinasi supaya tidak ada kebocoran saat proses desalinasi.



Keterangan :

1. Tabung Nitrogen
2. Valve pengatur gas nitrogen
3. Valve pengatur tekanan
4. Valve feed air garam
5. Valve udara
6. Pressure gauge
7. Reaktor desalinasi
8. Modul membran
9. Beaker glass
10. Feed air garam



Keterangan :

- A. Membran CA/PEG-CNT
- B. Kertas saring
- C. Scotlite
- D. Akrilik

Gambar A. 4 Alat Uji Desalinasi

B. Preparasi Larutan Garam

1. Menimbang 5 gram NaCl dengan neraca ohaus.
2. Menyiapkan 5 liter aquadest, mencampurkan 5 gr NaCl ke dalam 5 liter aquades, kemudian diaduk menggunakan sendok.

3. Mengukur kadar garam pada larutan dengan menggunakan *saltmeter*. Apabila sudah menunjukkan angka 5 ppt, larutan bisa digunakan untuk uji desalinasi, apabila belum menunjukkan 5 ppt maka ditambahkan NaCl, Apabila berlebih maka ditambahkan aquades.

C. Uji Desalinasi (Gambar Alat)

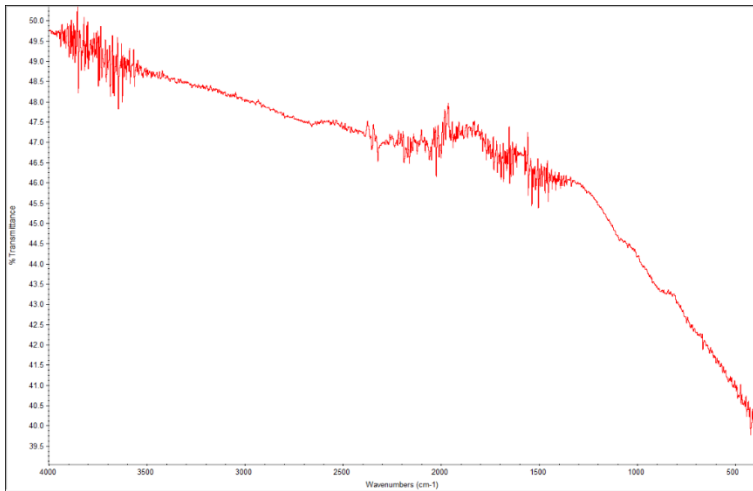
1. Membuka *valve* udara untuk membebaskan udara yang ada dalam reaktor.
2. Membuka *valve* larutan garam, lalu memasukkan larutan garam 200 ml ke dalam reaktor, kemudian menutup *valve* udara dan *valve* larutan garam.
3. Membuka *valve* gas nitrogen secara perlahan, kemudian mengukur tekanan pada *pressure gauge* hingga menunjukkan 3 bar.
4. Mencatat volume yang keluar selama 15 menit dan diukur kadar garam menggunakan *saltmeter*.
5. Mengolah data untuk mengetahui fluks, permeabilitas dan *salt rejection* dari membran.

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)

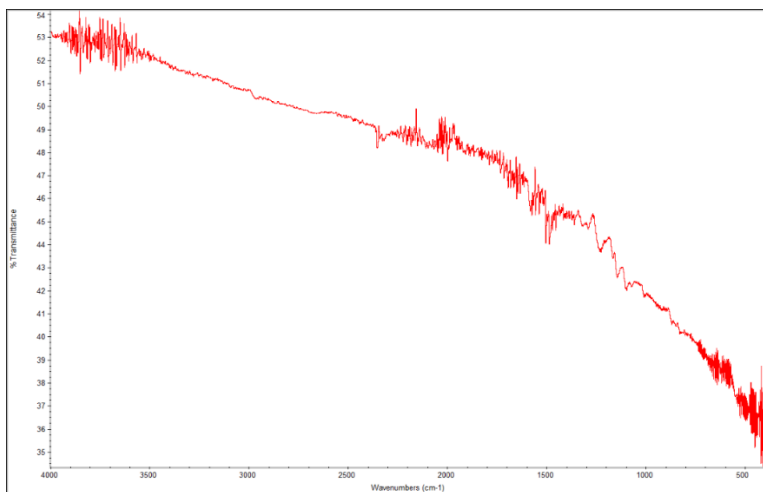
APPENDIKS B

HASIL PERCOBAAN

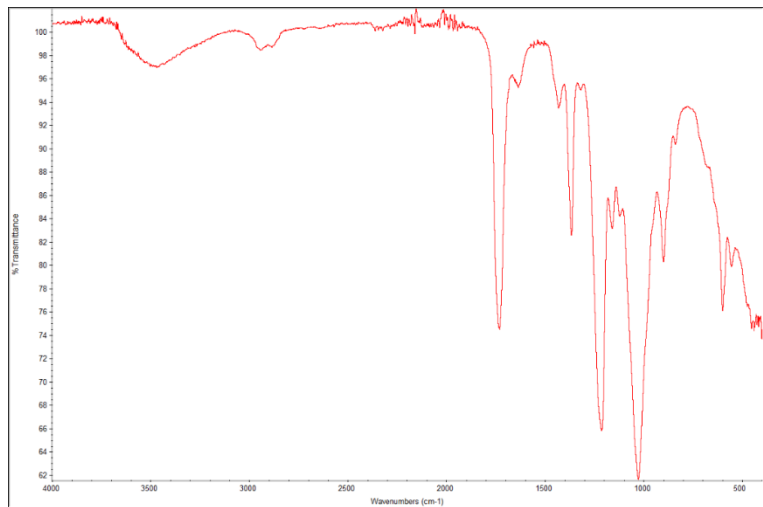
B.1. Hasil *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)



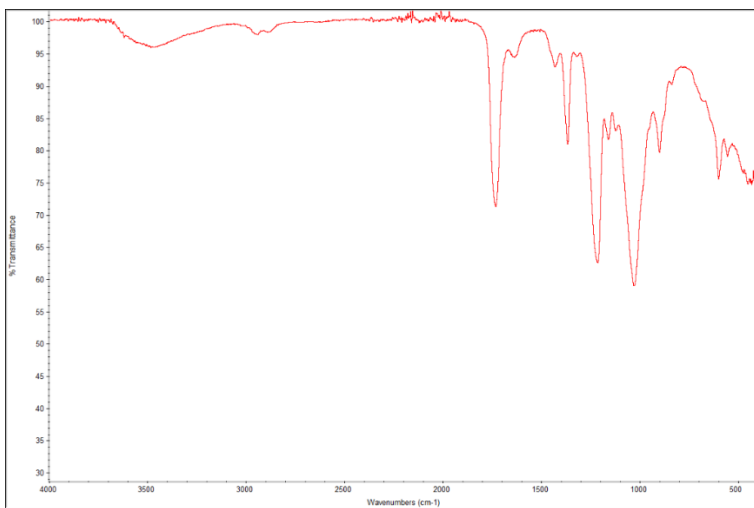
Gambar B. 1 Grafik FTIR Carbon Nanotube



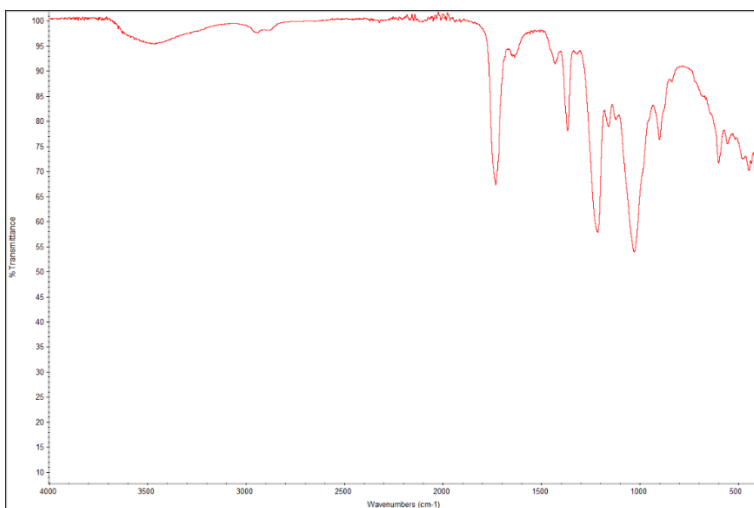
Gambar B. 2 Grafik FTIR Carbon nanoutube terfungsionalisasi



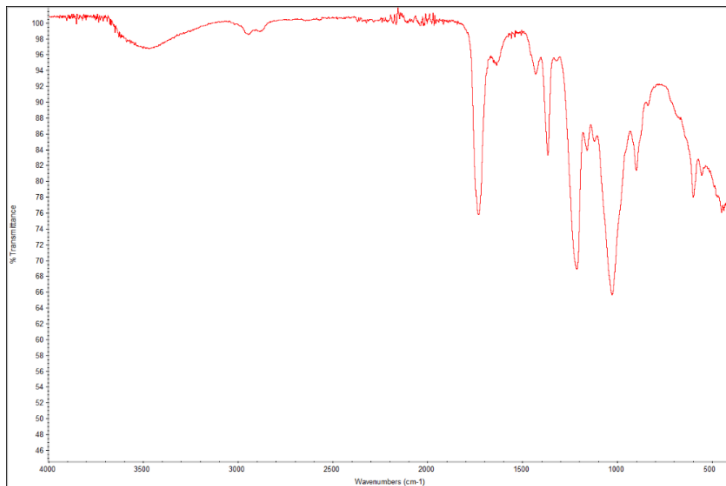
Gambar B. 3 Grafk FTIR Membran CPCU 0



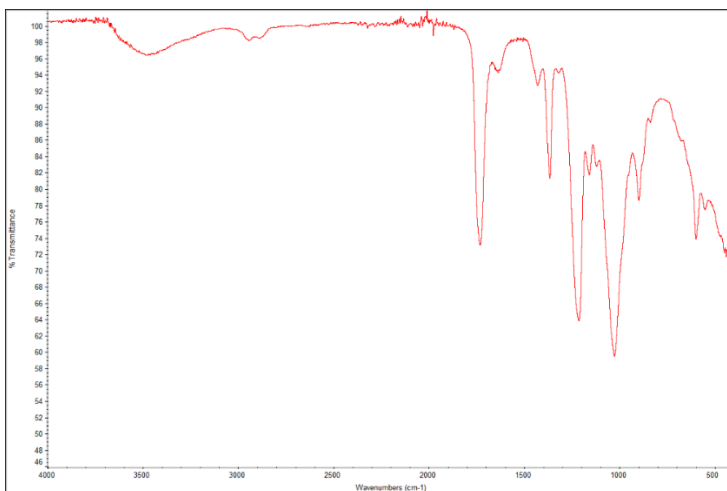
Gambar B. 4 Grafik FTIR Membran CPCU 1



Gambar B. 5 Grafik membran CPCU 2



Gambar B. 6 Grafik membran CPCU 3



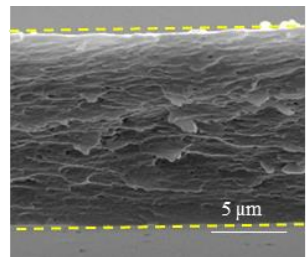
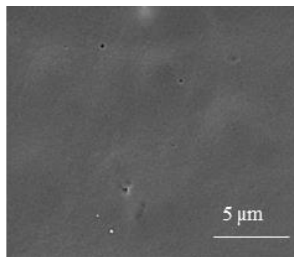
Gambar B. 7 Grafik membran CPCU 4

B.2. Hasil *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

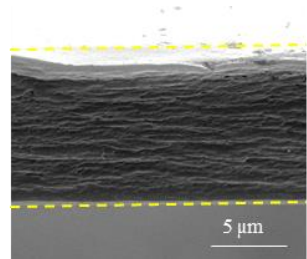
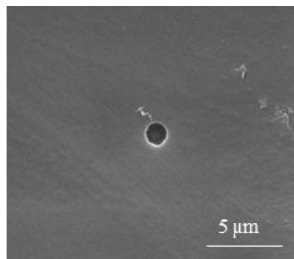
*Top Surface
Section*

*Fracture
Section*

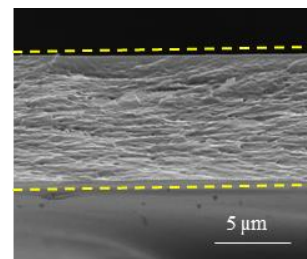
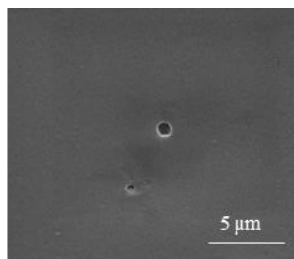
CPCU 0



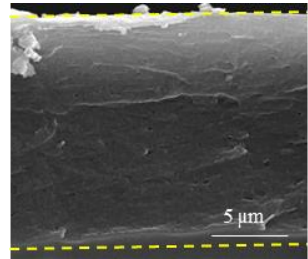
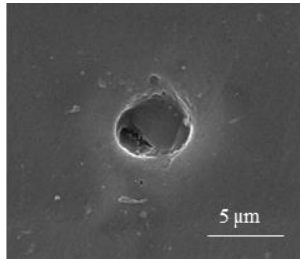
CPCU 1



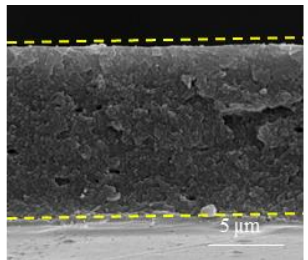
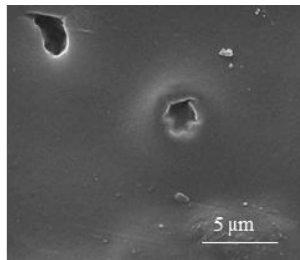
CPCU 2



CPCU 3



CPCU 4



B.3. Hasil Analisa Water Content

Membran	Berat Kering (gr)	Berat Basah (gr)	Selisih (gr)
CPCU 0	0.0082	0.0139	0.0057
CPCU 1	0.0083	0.0151	0.0068
CPCU 2	0.0098	0.0168	0.007
CPCU 3	0.0103	0.0188	0.0086
CPCU 4	0.0105	0.0199	0.0089

B.4. Hasil Analisa Fluks

Membran	Permeat (ml)	Waktu (min)
CPCU 0	50	10
CPCU 1	120	10
CPCU 2	136	10
CPCU 3	164	10
CPCU 4	185	10

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)

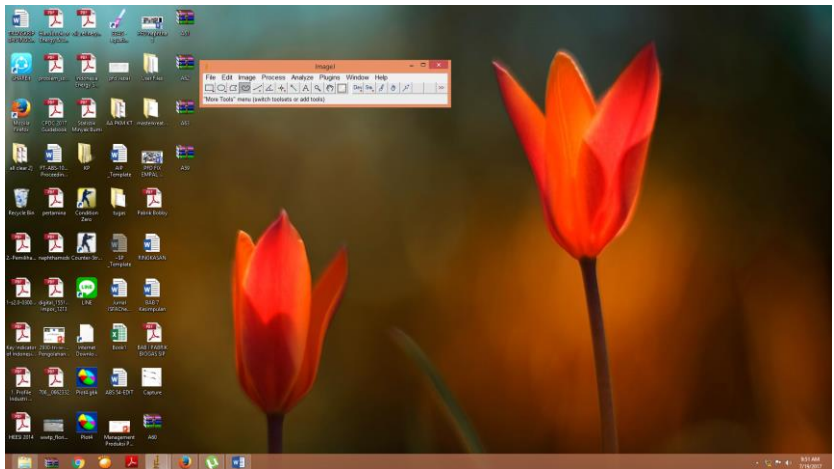
APPENDIKS C

HASIL PERHITUNGAN

C.1 Perhitungan Luas Area *Peak* FTIR

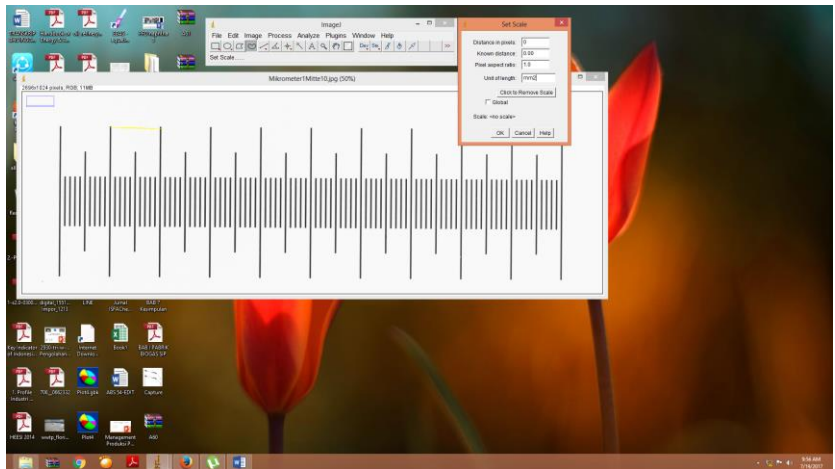
Perhitungan luas area *peak* gugus fungsi pada *carbon nanotube* dan pada membran yaitu menggunakan aplikasi ImageJ. Berikut merupakan cara perhitungan luas area *peak* :

- Membuka aplikasi ImageJ dan membuat garis kalibrasi



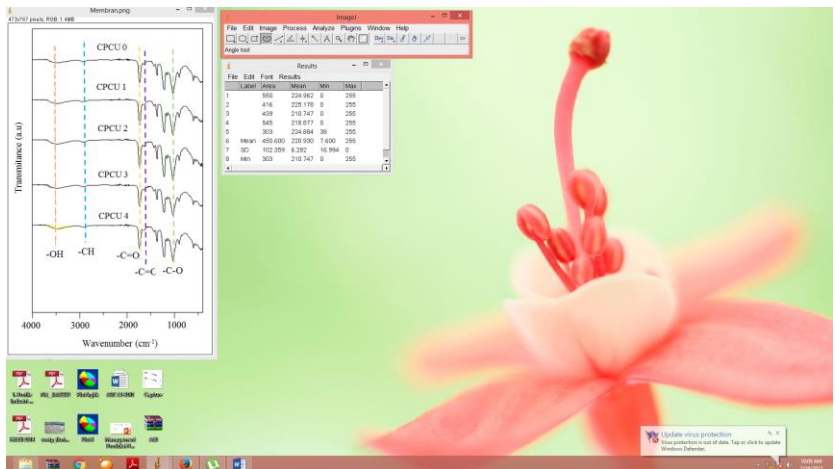
Gambar C. 1 Gambar Aplikasi ImageJ

- Membuat panjang untuk kalibrasi



Gambar C. 2 Gambar Penentuan Garis Kalibrasi

- Melakukan perhitungan luas area *peak* gugus -OH



Gambar C. 3 Gambar Pehitungan Luas Area *Peak* Gugus –OH

Tabel C. 1 Luas Area *Peak* Gugus –OH dan –COOH pada CNT dan *functionaized* CNT

Membran	Luas Area <i>peak</i> –OH (mm ²)	Luas Area <i>peak</i> –COOH (mm ²)	Peningkatan luas area <i>peak</i> –OH (%)	Peningkatan luas area <i>peak</i> –COOH (%)
CNT	34	30		
CNT SCN	53	79	55.8%	163.3%
CNT SCNU	69	199	102.9%	563.3%

Tabel C. 2 Luas Area *Peak* Gugus –OH pada Membran

Membran	Luas Area (mm ²)	Peningkatan (%)
CPCU 0	234	
CPCU 1	262	11.97
CPCU 2	348	48.72
CPCU 3	389	66.24
CPCU 4	453	93.59

C.2 Perhitungan Kadar Air Garam

a. Bahan :

1. Garam NaCl
2. Aquades

b. Langkah kerja :

1. Menimbang berat garam NaCl
2. Melarutkan garam dalam aquades

c. Perhitungan :

- Kadar garam yang diharapkan :

$$5000 \text{ ppm} = 5 \text{ g/L}$$

$$= 5000 \text{ mg/L}$$

$$\text{Kadar NaCl} = \frac{\text{Massa NaCl}}{\text{Volume air garam}}$$

$$\begin{aligned}
 5000 \text{ ppm} &= \frac{\text{Massa NaCl (g)}}{1 \text{ L}} \\
 5 \text{ g/L} &= \frac{\text{Massa NaCl (g)}}{1 \text{ L}} \\
 \text{Massa NaCl} &= 5 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

C.3 Perhitungan Fluks Permeat

- Data dari analisa uji desalinasi berupa luas area membran (A) [cm²] dan data dari analisa kadar garam berupa jumlah (volume) permeat [liter] dan waktu [jam] dapat diolah untuk memperoleh fluks permeat dengan persamaan :

$$J = \frac{Q}{A \times t}$$

dimana

J = Fluks permeat (Liter/m²jam)

Q = Jumlah permeat (Liter)

A = Luasan membran (m²)

t = Waktu (jam)

- Hasil fluks permeat yang diperoleh menandakan kemampuan aliran air melewati membran, dimana semakin tinggi fluks permeat maka performa dari membran akan semakin baik
- Perhitungan

Contoh perhitungan fluks permeat untuk membran CPCU 0

Diketahui

- Jumlah permeat (Q) = 15 ml = 0.015 lt
- Luas area kontak = 3 cm
= 0.0009 m²
- Waktu = 10 menit
= 0.167 jam

$$J = \frac{Q}{A \times t}$$

$$J = \frac{Q}{(s \times s) \times t}$$

$$J = \frac{0,05 \text{ [liter]}}{0,0009 \text{ [m}^2\text{]} \times 0,167 \text{ [jam]}}$$

$$J = 333,33 \text{ [liter/m}^2\text{.jam]}$$

Tabel C. 3 Hasil Perhitungan Fluks Permeat

Membran	Fluks [Liter/m ² .jam]	Peningkatan (%)
CPCU 0	333.33	
CPCU 1	800	140
CPCU 2	906.67	172
CPCU 3	1093.33	228
CPCU4	1233.33	713.5

C.4 Perhitungan Permeabilitas

- Dari data fluks yang telah dihitung dan juga perbedaan tekanan antara tekanan operasi dengan tekanan osmotik yang ditentukan sebesar 114.181 kPa, maka dapat digunakan untuk menghitung harga permeabilitas pada membran dengan formula:

$$Pm = \frac{J}{\Delta P}$$

dimana,

Pm = permeabilitas membran (L.jam⁻¹m⁻²/kPa)

J = fluks permeat (L/jam.m²)

ΔP = perbedaan tekanan (kPa)

- Perhitungan

Contoh perhitungan fluks permeat untuk membran CPCU 0

Diketahui

- Fluks permeat (J) = 333.333
L/m².hr

- ΔP = 114.181 kPa

$$Pm = \frac{J}{\Delta P}$$

$$Pm = \frac{333.333 \left(\frac{L}{m^2 \cdot hr} \right)}{114.181 \frac{kPa}{L}}$$

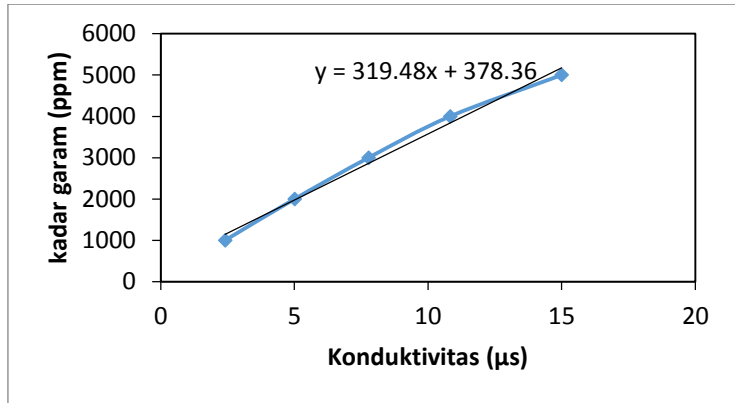
$$Pm = 2.919 \left(\frac{L}{m^2 \cdot hr \cdot kPa} \right)$$

Tabel C. 4 Hasil Perhitungan Permeabilitas

Membran	Permeabilitas [Liter/m ² .hr.kPa]
CPCU 0	2.919
CPCU 1	7.006
CPCU 2	7.941
CPCU 3	9.575
CPCU4	10.802

C.5 Perhitungan *Salt Rejection*

- Didapatkan hasil permeat dari uji desalinasi, lalu diuji dengan menggunakan alat konduktometer.



Gambar C. 4 Grafik Kalibrasi Air Garam

Dari grafik pada **Gambar C.4** didapatkan persamaan garis yaitu $y = 319.48x + 378.36$

Tabel C. 5 Hasil Uji Konduktivitas (CPCU)

Membran	Konduktivitas (μs)
CPCU 0	7.5
CPCU 1	7.24
CPCU 2	6.87
CPCU 3	6.75
CPCU 4	6.86

- Dari hasil konduktivitas dapat digunakan untuk mengetahui *salt rejection* dari membran
 Diketahui persamaan garis : $y = 319.48x + 378.36$
 Keterangan :
 x = konduktivitas (μs)
 y = kadar garam (ppm)
 Konduktivitas membran CPCU 0
 $y = 319.48x + 378.36$

$$\begin{aligned}
 & \% \text{Salt Rejection} \\
 &= \frac{\text{Kadar garam feed [ppm]} - \text{kadar ram permeat [ppm]}}{\text{kadar garam feed (ppm)}} \times 100\% \\
 &= \frac{5000 \text{ [ppm]} - 2774.7 \text{ [ppm]}}{5000 \text{ (ppm)}} \times 100\% \\
 &= 44.511 \%
 \end{aligned}$$

Tabel C. 6 Hasil *Salt Rejection*

Membran	%Salt Rejection
CPCU 0	44.511
CPCU	46.172
CPCU 2	48.536
CPCU 3	49.303
CPCU 4	48.600

RIWAYAT HIDUP PENULIS I



Rizal Andhika Gumilang, lahir di Surabaya pada tanggal 21 Desember 1994. Anak kedua dari dua bersaudara. Memulai pendidikan formal di SDN Gading VIII Surabaya. Panjang dan lulus pada tahun 2007. Kemudian melanjutkan ke tingkat menengah di SMPN 1 Surabaya lalu SMAN 2 Surabaya. Penulis kemudian melanjutkan studi tingkat sarjana di Institut Teknologi Sepuluh

Nopember (ITS) Surabaya. Selama melaksanakan studi S1, penulis melakukan kerja praktik di PT Pupuk Kalimantan Timur, Bontang, Kalimantan Timur dan menyelesaikan tugas Pra Desain Pabrik dengan judul “*Naphtha Hydrotreating Unit dari Kuwait Crude Oil*”. Selain kegiatan akademik, penulis juga aktif dalam HIMATEKK FTI-ITS dan Badan Koordinasi Kegiatan Mahasiswa Teknik Kimia. Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian buku ini. Semoga apa yang telah dicapai dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya.

Hormat saya,

Rizal Andhika Gumilang

+62 8589 5566 727

rizalandhikag@yahoo.com

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)

RIWAYAT HIDUP PENULIS II



Moch. Ilham Riswanda, lahir di Surabaya pada tanggal 23 Juli 1995. Anak pertama dari tiga bersaudara. Memulai pendidikan formal di SD Al-Muslim dan lulus pada tahun 2007. Kemudian melanjutkan ke tingkat menengah di SMP Al-Islah lalu SMAN 16 Surabaya. Penulis kemudian melanjutkan studi tingkat sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama melaksanakan

studi S1, penulis melakukan kerja praktik di PT. Pupuk Kalimantan Timur dan menyelesaikan tugas Pra Desain Pabrik dengan judul “*Naphtha Hydrotreating Unit dari Kuwait Crude Oil*”. Selain kegiatan akademik, penulis juga aktif dalam BEM FTI-ITS, kegiatan BEM ITS dan kewirausahaan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian buku ini. Semoga apa yang telah dicapai dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya.

Hormat saya,

Moch. Ilham Riswanda

+62 8124 9482 860

ilhamriswanda@gmail.com

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)